



**Universidad  
Carlos III de Madrid**

## **TESIS DOCTORAL**

# **EL DISEÑO DE UNA BASE DE DATOS DE INVESTIGACIONES EN PROFUNDIDAD SOBRE ATROPELLOS A PEATONES**

**AUTOR: D. JOSÉ ANDRÉS CAMPÓN DOMÍNGUEZ**

**DIRECTOR: Dr. D. JOSÉ LUIS SAN ROMÁN GARCÍA**

**DEPARTAMENTO DE INGENIERIA MECÁNICA**

**Leganés, 2015**







## ***TESIS DOCTORAL***

# ***EL DISEÑO DE UNA BASE DE DATOS DE INVESTIGACIONES EN PROFUNDIDAD SOBRE ATROPELLOS A PEATONES***

**Autor:**

**José Andrés Campón Domínguez**

**Director:**

**Dr. José Luis San Román García**

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA**

Leganés, 13 de octubre de 2015



## TESIS DOCTORAL

# EL DISEÑO DE UNA BASE DE DATOS DE INVESTIGACIONES EN PROFUNDIDAD SOBRE ATROPELLOS A PEATONES

***Autor:***

*José Andrés Campón Domínguez*

**Director:**

**Dr. José Luis San Román García**

Firma del Tribunal Calificador:

Firma

Presidente:

Vocal:

Secretario:

Calificación:

Leganés,      de      de



# INDICE

## **CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN.....19**

<b>I. PLANTEAMIENTO Y JUSTIFICACIÓN DE LA TESIS .....</b>	<b>19</b>
1. LA INVESTIGACIÓN SOBRE EL SINIESTRO VIAL.....	19
2. UN MODELO GENERAL SOBRE EL SINIESTRO VIAL.....	24
3. UNA METODOLOGIA DE INVESTIGACIÓN PROPIA.....	25
4. LA INVESTIGACIÓN EN PROFUNDIDAD DE LOS SINIESTROS VIALES .....	26
5. APLICACIÓN PRÁCTICA AL ATROPELLO A PEATÓN.....	27
<b>II. INTERES Y GRADO DE INNOVACIÓN .....</b>	<b>31</b>
1. INTERES.....	31
2. GRADO DE INNOVACIÓN PREVISTO .....	33
<b>III. OBJETIVOS DE LA TESIS .....</b>	<b>35</b>
1. OBJETIVO GENERAL .....	36
2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	36
<b>IV. METODOLOGÍA DE LA TESIS .....</b>	<b>37</b>
1. OBJETO DE LA INVESTIGACIÓN .....	37
2. METODOLOGIA DE ESTA TESIS.....	37
3. INSTRUMENTOS UTILIZADOS EN LA INVESTIGACIÓN .....	39
<b>V. ESTRUCTURA DE LA TESIS.....</b>	<b>42</b>
1. MAPA CONCEPTUAL.....	42
2. ESTRUCTURA DE LA TESIS.....	43

## **CAPÍTULO 2: EL MODELO SECUENCIAL DE EVENTOS DE UN SINIESTRO (MOSES) .....45**

<b>I. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>45</b>
1. DEFINICIÓN DE SINIESTRO VIAL .....	45
2. EL CONCEPTO DE MODELO.....	47
<b>II. REVISIÓN DE LA LITERATURA SOBRE MODELOS DE SINIESTRO VIAL.....</b>	<b>48</b>
1. MODELOS ESTADÍSTICOS .....	51
2. MODELOS SECUENCIALES DE EVENTOS .....	59
3. MODELOS EPIDEMIOLÓGICOS .....	69
4. MODELOS DEL FACTOR HUMANO .....	75
5. MODELOS SISTÉMICOS DEL SINIESTRO VIAL .....	85
<b>III. BASES CONCEPTUALES DE MOSES.....</b>	<b>94</b>
1. EL SISTEMA DE TRÁFICO VIAL .....	95
2. CONCEPTOS SOBRE EVENTOS.....	97
3. CONCEPTOS TEMPORALES .....	104
4. CONCEPTOS RELATIVOS AL RIESGO .....	106
5. CONCEPTOS RELATIVOS AL PROCESO DE TOMA DE DECISIONES .....	108
6. CONCEPTOS RELATIVOS A LA RECONSTRUCCIÓN FÍSICA .....	112
7. CONCEPTOS CAUSALES.....	114
8. CONCLUSIONES.....	117

## **CAPÍTULO 3: METODOLOGIA DE LA INVESTIGACIÓN DE SINIESTROS .....119**

<b>I. NIVELES DE LA INVESTIGACIÓN DE SINIESTROS VIALES .....</b>	<b>119</b>
1. PERSPECTIVAS.....	119
2. PLANOS.....	122
3. FACTORES CONDICIONANTES DE LOS RESULTADOS .....	125
4. NIVELES CLÁSICOS.....	133
5. FINALIDADES DE LA INVESTIGACIÓN DE SINIESTROS VIALES.....	137
6. UN SISTEMA SOSTENIBLE PARA LA INVESTIGACIÓN EN PROFUNDIDAD DE SINIESTROS VIALES EN ESPAÑA .....	139

<b>II. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN DE SINIESTROS.....</b>	<b>142</b>
1. ESTADO DEL ARTE.....	142
2. METODOLOGIA AVANZADA DE INVESTIGACIÓN DE SINIESTROS VIALES .....	156
3. PROCESAMIENTO DE LA ESCENA DEL SINIESTRO .....	157
4. INVESTIGACIONES COMPLEMENTARIAS.....	171
5. RECONSTRUCCIÓN TÉCNICA DE ACUERDO CON EL MODELO MOSES.....	175
6. CAUSAS DEL SINIESTRO VIAL.....	187
7. CONCLUSIONES.....	189

#### **CAPÍTULO 4: LA APLICACIÓN DE MOSES AL ATROPELLO A PEATONES .....193**

<b>I. ESTADO DEL ARTE .....</b>	<b>193</b>
1. TIPOLOGIAS DE ATROPELLOS A PEATONES.....	194
2. CINEMÁTICA DEL PEATÓN EN UN ATROPELLO FRONTAL.....	201
3. PATRONES CINEMÁTICOS DEL PEATÓN ATROPELLADO .....	207
4. MODELOS APLICABLES EN LA RECONSTRUCCIÓN TÉCNICA DEL ATROPELLO.....	213
5. BIOMECÁNICA LESIONAL DEL PEATÓN.....	241
6. PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN EN PROFUNDIDAD DE ATROPELLOS A PEATONES.....	257
<b>II. APLICACIÓN DE LA METODOLOGIA DE INVESTIGACIÓN AL ATROPELLOS A PEATONES .....</b>	<b>261</b>
1. PROCESAMIENTO DE LA ESCENA DEL ATROPELLO .....	262
2. FUENTES DE INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA .....	271
3. RECONSTRUCCIÓN TÉCNICA MEDIANTE LA APLICACIÓN DE MOSES.....	280
4. CAUSAS Y CONDICIONES DEL ATROPELLO.....	312
5. CONCLUSIONES.....	314

#### **CAPÍTULO 5: LA BASE DE DATOS EN PROFUNDIDAD SOBRE ATROPELLOS PEATONES .....317**

<b>I. ESTADO DEL ARTE.....</b>	<b>317</b>
1. INTRODUCCIÓN.....	317
2. BASES DE DATOS EN PROFUNDIDAD GENÉRICAS .....	319
3. BASES DE DATOS EN PROFUNDIDAD ESPECÍFICAS SOBRE PEATONES .....	328
4. RELACIONES ENTRE EL SISTEMA DE INVESTIGACIÓN Y LA BASE DE DATOS.....	332
<b>II. BASE ESPAÑOLA DE DATOS AVANZADA SOBRE SINIESTROS VIALES (BEDAS).....</b>	<b>334</b>
1. BASE DE DATOS ARENA .....	334
2. ESTRUCTURA TEÓRICA DE BEDAS .....	339
3. PUNTO DE PARTIDA REAL DE BEDAS: EL MODULO DE PEATONES.....	341
4. POSIBLES UTILIDADES DE BEDAS.....	345
5. PROBLEMAS Y DIFICULTADES .....	346
6. CONCLUSIONES.....	349

#### **CAPÍTULO 6: VALIDACIÓN DE LA BASE DE DATOS EN PROFUNDIDAD CON CASOS REALES .....353**

<b>I. ANÁLISIS DE CASOS REALES DE ATROPELLOS A PEATONES .....</b>	<b>353</b>
1. FUENTES DE DATOS.....	353
2. ELECCIÓN DE LA MUESTRA.....	353
3. PRESENTACIÓN DE LOS CASOS REALES.....	354
<b>II. ESTUDIO ESTADÍSTICO DE LA MUESTRA.....</b>	<b>359</b>
1. ANÁLISIS DEL SISTEMA VIAL .....	359
2. LESIONES .....	375
3. EVENTO CRÍTICO.....	380
4. POSICIONES SIGNIFICATIVAS .....	382
5. RECONSTRUCCIÓN .....	385
6. CONDICIONES Y CAUSAS .....	389
7. CONCLUSIONES.....	392

<b>CAPÍTULO 7: CONCLUSIONES Y FUTURAS LINEAS DE INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>397</b>
<b>I. CONCLUSIONES .....</b>	<b>397</b>
1. CONCLUSIONES GLOBALES .....	397
2. HIPOTESIS DE LA TESIS.....	399
<b>II. FUTURAS LINEAS DE INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>402</b>
1. EL MODELO DEL SINIESTRO VIAL.....	403
2. METODOLOGIA DE LA INVESTIGACIÓN.....	403
3. INVESTIGACIÓN DE ATROPELLOS A PEATONES .....	404
4. LA BASE DE DATOS AVANZADA.....	405
5. ESCENARIOS DE ATROPELLOS .....	405
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>409</b>
<b>ANEXO I: CASO 20122201 DIRAT .....</b>	<b>425</b>
1. PROCESAMIENTO ESCENA.....	425
2. INVESTIGACIONES ADICIONALES .....	429
3. RECONSTRUCCIÓN DEL SINIESTRO VIAL .....	431
4. ANÁLISIS DE LAS CAUSAS .....	443



## **Índice de gráficos**

Figura 1: Contribución a la mortalidad de cada tipología de siniestros viales.....	28
Figura 2: Mapa conceptual de esta tesis .....	42
Figura 3: Desarrollo en capítulos de la tesis.....	44
Figura 4: Teoría del dominó descriptiva del siniestro .....	60
Figura 5: Representación de las posiciones de interés en este modelo .....	62
Figura 6: Aplicación del modelo a una colisión Angular Ortogonal Lateral Delantera .....	66
Figura 7: Comparación entre la secuencia de fases en el Método INRETS y el modelo secuencial de reconstrucción cinemática .....	67
Figura 8: Modelo epidemiológico HAE (Host-Agent-Environment).....	70
Figura 9: Representación gráfica del concepto de barrera de seguridad.....	71
Figura 10: Modelo epidemiológico de Houston .....	73
Figura 11: Matriz de Haddon genérica aplicable a cualquier suceso relevante .....	73
Figura 12: Diagrama de las funciones del conductor .....	76
Figura 13: Representación del modelo SCM de Reason .....	78
Figura 14: Sistema de Análisis y Clasificación de los Factores Humanos (HFACS).....	80
Figura 15: Modelo Amenaza-Evitación.....	82
Figura 16: Diagrama del proceso de decisiones del conductor formulado por Wilde .....	84
Figura 17: Gráfica de Blumenthal sobre la hipotética localización del fallo en el sistema vial .....	87
Figura 18: Errores de punta roma y punta aguda.....	88
Figura 19: Sistema de representación gráfica del sistema vial. ....	96
Figura 20: Gráfico explicativo de un modelo genérico de siniestro a través de un árbol de causas .....	100
Figura 21: Análisis matricial ampliado en el modelo MOSES.....	105
Figura 22: Representación gráfica simple de la secuencia de eventos de un siniestro .....	111
Figura 23: Representación gráfica del Modelo MOSES .....	112
Figura 24: Representación gráfica de una secuencia cinemática.....	114
Figura 25: Relaciones entre los diferentes planos de la investigación sobre siniestros viales.....	124
Figura 26: Nexo de unión entre las bases de datos a nivel nacional y las bases de datos en profundidad .....	132
Figura 27: Causas seguras y probables atribuidas al factor humano, al medio ambiente y al vehículo en el Estudio Trilevel .....	134
En la Figura 28 se puede observar un esquema gráfico del sistema propuesto para llevar a cabo investigaciones en profundidad en España. ....	140
Figura 29: Sistema de investigación en profundidad de siniestros viales en España.....	141
Figura 30: Esquema de la metodología de la investigación utilizada en CEESAR .....	151
Figura 31: Representación gráfica de la metodología de la investigación de siniestros viales.....	156
Figura 32: Criterio del atropello según el tipo de vehículo .....	195
Figura 33: Distribución porcentual en el Estudio PICS de las zonas de contacto del peatón con el vehículo .....	197
Figura 34: Clasificación del peatón según su edad.....	198
Figura 35: Diferentes posturas del peatón al ser atropellado por el vehículo .....	199
Figura 36: Posiciones relativas del peatón respecto del vehículo.....	200
Figura 37: Secuencia real de un atropello frontal a un peatón que se encuentra de pie y de espaldas.....	200
Figura 38: Categorización de los impactos a peatones .....	202
Figura 39: Movimiento del cdg de un peatón atropellado con una trayectoria vertical dentro del campo gravitatorio hasta su completa detención.....	205
Figura 40: Impacto por encima del centro de gravedad.....	206
Figura 41: Movimiento del cdg de un peatón atropellado con una trayectoria horizontal dentro del campo gravitatorio hasta su completa detención.....	206

Figura 42: Porcentajes de cada tipo de trayectoria postimpacto seguidas por los peatones en casos reales de atropello.....	208
Figura 43: Proyección hacia delante.....	209
Figura 44: Trayectoria de envolvimiento .....	210
Figura 45: Volteo sobre la aleta.....	211
Figura 46: Volteo sobre el techo.....	212
Figura 47: Trayectoria de Salto Mortal .....	213
Figura 48: Relación entre el desplazamiento $X_L$ y la velocidad inicial del vehículo.....	223
Figura 49: Gráficas de las diferentes funciones obtenidas por Appel.....	230
Figura 50: Correlación entre velocidad de atropello y daños en el vehículo. ....	238
Figura 51: Relación entre la altura de impacto de la cabeza del peatón y la velocidad de impacto del vehículo .....	238
Figura 52: Regiones del cuerpo lesionadas y trayectorias de la cabeza.....	243
Figura 53: Distribución de las lesiones corporales y las zonas del vehículo y la carretera que las producen .....	244
Figura 54: Regiones anatómicas afectadas por vehículos diseñados en los años setenta .....	245
Figura 55: Regiones anatómicas afectadas por vehículos diseñados en los años noventa.....	246
Figura 56: Regiones anatómicas afectadas por vehículos actuales.....	246
Figura 57: Distribución de lesiones por atropello a peatones en España.....	247
Figura 58: Lesiones principales producidas de las extremidades inferiores del peatón a consecuencia del atropello.....	251
Figura 59: Curva de correlación entre el Riesgo de lesiones cerebrales y el índice HIC a 15 ms. ....	253
Figura 60: Localización relativa de los testigos .....	263
Figura 61: Detalle de las partes del vehículo afectadas por la interacción del peatón.....	265
Figura 62: Vista cenital (izquierda) y panorámica de la glorieta.....	266
Figura 63: Lugar de la vía donde tuvo lugar el atropello.....	267
Figura 64: Salida y puesta de sol en Mérida.....	268
Figura 65: Restos de sangre de la víctima .....	268
Figura 66: gráficos utilizados en la declaración de los testigos.....	271
Figura 67: Representación gráfica de las lesiones sufridas por la persona atropellada. ....	272
Figura 68: Croquis 2D de la escena del atropello .....	274
Figura 69: Visibilidad en el lugar de atropello desde la perspectiva del conductor del camión.....	275
Figura 70: Información del Nissan Cabstar 35/110 en la base de datos de PC-Crash .....	275
Figura 71: Ficha técnica del vehículo.....	276
Figura 72: Modelo 3D de un Nissan Cabstar.....	277
Figura 73: Esquema general de medidas del frontal de un vehículo .....	277
Figura 74: Esquema de toma de medida de la WAD.....	278
Figura 75: Situación del borde del capó (BLE).....	278
Figura 76: Toma de medida del desplazamiento lateral .....	279
Figura 77: Mediciones de los daños en el frontal del camión.....	279
Figura 78: Acelerómetro utilizado en los ensayos de frenada .....	280
Figura 79: Lugar del atropello (POI).....	282
Figura 80: Posiciones del vehículo y del peatón en el momento del impacto .....	282
Figura 81: Datos de las trayectorias del vehículo y del peatón.....	287
Figura 82: Entorno tridimensional diseñado en base al croquis. ....	290
Figura 83: Datos introducidos en el programa informático sobre el camión Nissan .....	290
Figura 84: Diseño 3D del camión Nissan utilizado en la reconstrucción informática.....	291
Figura 85: Representación gráfica del modelo multicuerpo.....	291
Figura 86: Comparación del resultado de la superposición del croquis y la gráfica de PC-Crash. ....	292

Figura 87: Fase de contacto .....	293
Figura 88: Fase de vuelo.....	293
Figura 89: Fase de rebote y arrastre sobre la superficie de la vía hasta la posición final .....	294
Figura 90: Daños reales (izquierda) y comparación de la posición del cuerpo en la simulación (centro y derecha) .....	294
Figura 91: Las tres partes del vehículo que impactan con diversas partes del cuerpo en la simulación....	295
Figura 92: Lesiones inferidas al peatón en los tres impactos con el vehículo .....	296
Figura 93: Lesiones producidas al peatón por el impacto con el suelo.....	296
Figura 94: Captura de pantalla de la situación en el momento del Evento Crítico en la simulación con PC-Crash.....	300
Figura 95: Diagrama distancia-tiempo (arriba) y velocidad-tiempo (abajo) de la simulación con PC-Crash con el punto de atropello (PA).....	303
Figura 96: El camión viene circulando por la Avda. Reina Sofía dirección sur (Badajoz).....	304
Figura 97: El conductor es avisado por una señal vertical del peligro de la proximidad de una rotonda	304
Figura 98: Paso de peatones previo a la glorieta. ....	305
Figura 99: la glorieta previa al paso de peatones.....	305
Figura 100: Primer paso de peatones previo a la glorieta .....	305
Figura 101: entrada de la rotonda donde el vehículo que accede debe ceder el paso a los otros vehículos .....	306
Figura 102: Circulación dentro de la rotonda .....	306
Figura 103: Vista del paso de peatones desde el interior de la glorieta .....	307
Figura 104: PPP del conductor del camión con respecto a un peatón que atraviesa la vía.....	307
Figura 105: Punto de percepción real del conductor del vehículo.....	308
Figura 106: Lugar de atropello POI.....	308
Figura 107: Punto de inicio de ejecución de la maniobra de frenado por parte del conductor .....	308
Figura 108: Posición final de la persona atropellada.....	309
Figura 109: Posición final del camión.....	309
Figura 110: Representación matricial MOSES aplicada al siniestro vial analizado .....	311
Figura 111: Estado actual del paso de peatones con la regulación semafórica.....	313
Figura 112: Esquema de la base de datos SafetyNet .....	322
Figura 113: Estructura de datos de la base DACoTA.....	323
Figura 114: Esquema externo de la base de datos .....	324
Figura 115: Vista de la base de datos DIANA .....	325
Figura 116: Diagrama Entidad-Relación de la Base de Datos.....	328
Figura 117: Vista de la base de datos de Aprosys .....	331
Figura 118: Aspectos a desarrollar en el proyecto STAIRS para construir una base de datos en profundidad .....	333
Figura 119: Estructura de la Base de Datos ARENA II .....	335
Figura 120: Estructura interna de datos del módulo de la base de datos .....	342
Figura 121: Género de las personas atropelladas en la muestra .....	360
Figura 122: Distribución porcentual de la edad de las víctimas de atropello .....	360
Figura 123: Distribución de edades en el estudio en profundidad sobre atropellos coordinado por SERNAUTO.....	361
Figura 124: Distribución de edades de Alemania.....	362
Figura 125: Distribución de edades en China.....	362
Figura 126: Distribución porcentual de edades y géneros de las personas atropelladas.....	362
Figura 127: Distribución porcentual de las estaturas y géneros de las personas de la muestra .....	363
Figura 128: Edades de los conductores de la muestra .....	364
Figura 129: Antigüedad del permiso de conducción B de los conductores .....	364

Figura 130: Consumo de alcohol y drogas en los conductores.....	365
Figura 131: Distribución porcentual de la muestra según el tipo de vehículo implicado .....	365
Figura 132: Distribución de los vehículos implicados en atropellos. ....	366
Figura 133: Distribución porcentual comparativa de los tipos de vehículos .....	366
Figura 134: Peso del vehículo implicado en el atropello.....	367
Figura 135: Distribución porcentual de los vehículos de la muestra con arreglo a su cilindrada .....	367
Figura 136: Partes del vehículo dañadas .....	368
Figura 137: Porcentaje de casos en los que resultó afectada esa parte del vehículo.....	368
Figura 138: Distribución de la zona de impacto en el vehículo.....	369
Figura 139: Partes afectadas en los vehículos implicados en los atropellos.....	369
Figura 140: Características generales de la vía donde sucedieron los atropellos .....	370
Figura 141: Trazado donde sucedieron los siniestros viales de la muestra .....	370
Figura 142: Anchura de la calzada en el lugar de atropello.....	371
Figura 143: Pendiente de la calzada en el punto de atropello de acuerdo con el sentido del vehículo .....	371
Figura 144: Horario del atropello .....	372
Figura 145: Luminosidad en el lugar del atropello.....	372
Figura 146: Límites de velocidad genéricos y específicos en el lugar de atropello.....	374
Figura 147: Distribución de las infracciones cometidas por los peatones víctimas de un atropello .....	375
Figura 148: Gravedad global de las lesiones sufridas por las víctimas del atropello .....	375
Figura 149: Gravedad de las consecuencias de los atropellos en Abida.....	376
Figura 150: Distribución de la gravedad de las lesiones según el género de la víctima .....	376
Figura 151: Distribución porcentual de los casos donde ha resultado afectada esa parte anatómica .....	377
Figura 152: Porcentaje de la parte anatómica afectada sobre el número total de lesiones registradas .....	377
Figura 153: Distribución porcentual de las lesiones en el estudio Abida .....	378
Figura 154: Distribución porcentual de lesiones en la base de datos GIDAS .....	378
Figura 155: Distribución porcentual de lesiones en el estudio de Changsha.....	379
Figura 156: Comparativa de la distribución porcentual de lesiones en cuatro estudios en profundidad ..	379
Figura 157: Eventos Críticos identificados en la muestra .....	380
Figura 158: Acciones previas del peatón a su atropello .....	381
Figura 159: Acción realizada por el peatón en el momento del atropello: adultos (derecha) y niños (izquierda) .....	382
Figura 160: Porcentajes de casos de acuerdo con el PPP .....	382
Figura 161: Distancia de la Posición de Ejecución de la Decisión al POI.....	383
Figura 162: Distancia existente en metros entre el PPP y el PNE .....	384
Figura 163: Distancia entre las posiciones finales del vehículo y del peatón.....	385
Figura 164: Velocidades de impacto de los vehículos estimadas con el programa de simulación .....	385
Figura 165: Velocidades estimadas en el estudio Abida .....	386
Figura 166: Velocidades de impacto del estudio Sernauto.....	387
Figura 167: Lugares de impacto de la cabeza del peatón con indicación de la gravedad de las lesiones ..	387
Figura 168: Modelo sistémico de interrelaciones de perfiles y condiciones de la muestra .....	392

## **Índice de tablas**

Tabla 1: Personas muertas en siniestros viales, estimación de 2012 y proyección estadística (2015-2030)	21
Tabla 2: Personas muertas por atropello en la década 1996-2011	29
Tabla 3: Lesividad de los atropellos a peatones	30
Tabla 4: Variables y ecuaciones del Power Model	56
Tabla 5: Estructura y niveles del modelo DRAG-España	57
Tabla 6: Factores condicionantes que contribuyen a los siniestros viales	64
Tabla 7: Tipos de ejecución de tareas según su modo de control	77
Tabla 8: Fenotipos y fenotipos específicos de DREAM 3.2	89
Tabla 9: Genotipos relativos al factor humano, la tecnología y la organización	90
Tabla 10: Modelo SNACS glosario de términos y ejemplos	92
Tabla 11: Niveles en la investigación de siniestros viales	135
Tabla 12: Causas del siniestro vial en el proyecto MAIDS	150
Tabla 13: clasificación del error humano de acuerdo con la teoría del PIEV	188
Tabla 14: Distribución porcentual de los diferentes tipos de vehículos implicados en atropellos en Londres	195
Tabla 15: Tipología de atropellos según la parte afectada del vehículo	196
Tabla 16: Distribución de las edades de los peatones atropellados en España	198
Tabla 17: Distribución porcentual de las diferentes posturas del peatón al ser atropellado por el vehículo	199
Tabla 18: coeficiente de rozamiento del peatón con el suelo	226
Tabla 19: Coeficientes de rozamiento de un peatón en función del material de su vestimenta y de la superficie	227
Tabla 20: Ecuaciones de Appel	229
Tabla 21: Valores de los parámetros trayectoria de envolvimiento	233
Tabla 22: Valores de los parámetros trayectoria de envolvimiento	233
Tabla 23: Ecuaciones de Appel aplicables a la proyección horizontal	233
Tabla 24: Coeficientes de la regresión lineal para el modelo de proyección horizontal	236
Tabla 25: Valores de los parámetros trayectoria de proyección horizontal	236
Tabla 26: Resumen de estudios epidemiológicos de lesiones causadas a peatones atropellados	242
Tabla 27: Porcentaje de partes del vehículo y calzada que impactan con el peatón	244
Tabla 28: Valores límite de cada uno de las magnitudes físicas relacionadas en cada hueso de las extremidades inferiores.	255
Tabla 29: Valores límite de lesión para la rodilla	255
Tabla 30: Valoración de los indicadores de ensayos de protección de peatones en EuroNCAP	256
Tabla 31: Valores máximos de los indicadores en los diferentes ensayos del Rgto. 78/2009	257
Tabla 32: Datos técnicos del vehículo implicado en el atropello	265
Tabla 33: Señalización vertical	270
Tabla 34: Clasificación de las lesiones y su codificación AIS	273
Tabla 35: Datos de las pruebas de frenada	280
Tabla 36: Hoja de cálculo Excel con los resultados de los modelos físicos de proyección horizontal	284
Tabla 37: Hoja de cálculo Excel con los resultados de los modelos estadísticos de proyección horizontal	286
Tabla 38: Variables del módulo de datos sobre peatones del proyecto Stairs	321
Tabla 39: Variables por módulos y por tipos de eventos	329
Tabla 40: Variables de la tabla peatón del proyecto Aprosys	331
Tabla 41: Tablas derivadas dedicadas a la lesión y a los contactos en el vehículo	332

Tabla 42: Variables definidas en la base de datos ARENA II.....	337
Tabla 43: Variables y datos a introducir en el sistema de base de datos .....	343
Tabla 44: Estatura media en España por géneros y grupos de edad .....	363
Tabla 45: Atropellos en España en 2013 según el horario de ocurrencia .....	372
Tabla 46: Iluminación de la vía en horario nocturno .....	373
Tabla 47: Acción del peatón previa al atropello en los datos de la DGT correspondientes a 2013.....	381
Tabla 48: Comparación de los resultados ofrecidos por diversos modelos y por el programa informático .....	386
Tabla 49: Variables relativos a la biomecánica de impacto de la cabeza .....	388
Tabla 50: Relación entre la codificación y velocidad del vehículo en el momento del impacto .....	389
Tabla 51: Validación de hipótesis planteadas en esta tesis.....	402



## AGRADECIMIENTOS

El trabajo presentado en esta tesis doctoral ha sido llevado a cabo dentro de las Unidades de Investigación y Reconstrucción de Siniestros Viales de la Agrupación de Tráfico de la Guardia Civil, que desde sus sedes en Madrid y Mérida apoyan las actividades de investigación del resto de sus unidades en las vías interurbanas de su competencia y cubren como Policía Judicial especializada en materia de seguridad vial todo el territorio nacional para la realización de informes periciales sobre siniestros viales.

En primer lugar quiero expresar mi agradecimiento al personal que compone esas Unidades de Reconstrucción y extenderlo a todas aquellas personas que realizan estas actividades de investigación de siniestros viales en la Agrupación de Tráfico de la Guardia Civil y en las Policías Locales de nuestro país.

Al General Jefe de la Agrupación de Tráfico de la Guardia Civil por haber permitido que se pudiera realizar un análisis científico de una pequeña parte de las múltiples investigaciones que realiza este Cuerpo en materia de seguridad vial.

Al Director de esta tesis, Dr. José Luis San Román García porque siempre ha contribuido a mi formación como investigador, ya desde nuestro primer encuentro en el circuito del Jarama en un Curso que la Universidad Carlos III impartió al personal que iba a constituir el embrión de las Unidades dedicadas a la reconstrucción de siniestros viales en la Agrupación de Tráfico de la Guardia Civil. Esa primera colaboración entre el mundo universitario y las unidades de investigación nos abrió la mente a los que estuvimos como alumnos y nos señaló el camino, personal e institucional, a recorrer. Gracias por el tiempo, la crítica constructiva realizada y por mejorar mucho el resultado final de esta tesis. Por extensión quiero agradecer al Departamento de Ingeniería Mecánica de la Universidad Carlos III el soporte recibido siempre en estas materias formativas.

De la misma forma quiero agradecer a mi mujer, María Eugenia, su apoyo constante y a mis hijos, Andrés e Isabel, que perdonen las horas que he pasado sentado en el ordenador. A mis padres por enseñarme, cuando era niño, a esforzarme siempre.





## Abreviaturas

<i>ABC</i>	<i>Antecedents Behaviour Consequences</i>
ABIDA	Accidentológico, Biomecánico y Dinámico de Atropellos de peatones
<i>ABS</i>	<i>Anti-lock Braking System</i>
<i>ACEM</i>	<i>Association of European Motorcycle Manufacturers</i>
<i>ACSR</i>	<i>Association of Crime Scene Reconstruction</i>
<i>AIS</i>	<i>Abbreviated Injury Scale</i>
APROSYS	<i>Advanced PROtection SYStem</i>
<i>ANSI</i>	<i>American National Standards Institute</i>
ARENA	Accidentes: Recogida de información y Análisis
<i>BASC</i>	<i>Birmingham Automotive Safety Centre</i>
BEDAS	Base Española de Datos Avanzada de Sinistros viales
<i>BA</i>	<i>Barrier Analysis</i>
<i>BAS</i>	<i>Brake Assistance System</i>
BD	Base de Datos
BIA	Barcelona Investigación Atropellos
<i>BLE</i>	<i>Bonnet Leading Edge</i>
CAN	Controller Area Network
<i>CARE</i>	<i>Community Database of Accidents Resulting in Death or Injury on Road in Europe</i>
<i>CASR</i>	<i>Centre for Automotive Safety Research</i>
<i>CCIS</i>	<i>Co-operative Crash Injury Study</i>
CdG	Centro de Gravedad
CEPOL	Collège Européen de Police
<i>COCOM</i>	<i>Contextual Control Model</i>
<i>CVS</i>	<i>Canadian Vehicles Specifications</i>
DaCoTA	<i>Data Collection Transfer Analysis</i>
DAI	Daño Axonal Difuso
<i>DBMS</i>	<i>Database Management System</i>
DEPOI	Determinación de Punto de impacto
DGT	Dirección General de Tráfico
DIRAT	Departamento Investigación y Reconstrucción Accidentes de Tráfico
<i>DITS</i>	<i>Dynamic Impact Testing System</i>
<i>DRAG</i>	<i>Demande Routière des Accidents et de leur Gravité</i>
<i>DREAM</i>	<i>Driver Reliability and Error Analysis Method</i>
EACS	<i>European Accident Causation Survey</i>
<i>ECMT</i>	<i>European Conference of Ministers of Transport</i>
<i>ECOM</i>	<i>Extended Control Model</i>
ECRIT	Evento Crítico
<i>EDA</i>	<i>Enquêtes Détaillées d'Accidents</i>
<i>EDR</i>	<i>Event Data Recorder</i>
<i>EDT</i>	<i>Electronic Database Template</i>
<i>ENFSI</i>	<i>European Network of Forensic Science Institutes</i>
EP	Eficiencia de la proyección
ERAT	Equipo de Reconstrucción de Accidentes de Tráfico
<i>E-R</i>	<i>Entity Relationship</i>
<i>ERSO</i>	<i>European Road Safety Observatory</i>
ESPOFIN	Estación Posición Final
<i>ETAC</i>	<i>European Truck Accident Causation</i>
<i>EU</i>	<i>European Union</i>
<i>FARS</i>	<i>Fatal Accident Reporting System</i>
FE	<i>Finite Element Model</i>
<i>FEA</i>	<i>Finite Element Analysis</i>
FEM	<i>Finite Element Method</i>
FICA	Factores de Influencia en las Causas de los Accidentes
FPI	Fuerza Principal de Impacto
FTA	<i>Fault Tree Analysis</i>
GAMBIT	<i>Generalized Acceleration Model for Brain Injury Tolerance</i>
<i>GIDAS</i>	<i>German In-Depth Accident Study</i>
GIS	<i>Geographic Information System</i>

GPS	<i>Global Positioning System</i>
GSI	<i>Gadd Severity Index</i>
GST	<i>General Systems Theory</i>
HAE	<i>Host Agent Environment</i>
HFACS	<i>Human Factors Analysis and Classifications System</i>
HGV	<i>Heavy Goods Vehicle</i>
HPC	<i>Head Performance Criterion</i>
HTO	<i>Human Technology Organization</i>
HVAI	<i>Heavy Goods Vehicle Aggressivity Index</i>
INRETS	<i>Institut National de REcherche sur les Transports et leur Sécurité</i>
INSIA	Instituto Universitario de Investigación del Automóvil
ICD	<i>International Classification of Diseases</i> ,
I+D+I	Investigación, Desarrollo e Innovación
INE	Instituto Nacional de Estadística
IRTAD	<i>International Road Traffic and Accident Data Base</i>
ISS	<i>Injury Severity Score</i>
ITAI	<i>Institute of Traffic Accident Investigators</i>
ITPM	<i>Institute of Police Technology and Management</i>
ITV	Inspección Técnica de Vehículos
JARI	<i>Japan Automobile Research Institute</i>
LAB	<i>Laboratory of Accidentology, Biomechanics and Human Behaviour</i>
LTCCS	<i>Large Truck Crash Causation Study</i>
MADYMO	<i>MAThematical DYnamic MOdels</i>
MAIDS	<i>Motorcycle Accidents In Depth Study</i>
MAIS	<i>Maximum Abbreviated Injury Scale</i>
MECATRAN	Mecánica Experimental, CÁlculo y TRANsportes
MERES	Medidas relativas a la escena del siniestro
MERESCAD	Medidas relativas a los cadáveres
MERESVIA	Medidas relativas a la vía
MERESVEH	Medidas relativas a vehículo
MES	<i>Multilinear Events Sequencing</i>
MDAI	<i>Multidisciplinary Accident Investigation</i>
MITOS	Método de Inspección Técnico Ocular del Siniestro vial
MOSES	Modelo Secuencial del Siniestro Vial
MORT	<i>Management Oversight and Risk Tree</i>
MUH	Universidad Médica de Hannover
NASS CDS	<i>National Automotive Sampling System-Crashworthiness Data System</i>
NCAC	<i>National Crash Analysis Center</i>
NHTSA	<i>National Highway Traffic Safety Administration</i>
NIC	<i>Neck Injury Criteria</i>
OECD	<i>Organization for Economic Co-operation and Development</i>
OMS	Organización Mundial de la Salud
ONU	Organización de las Naciones Unidas
OTAN	Organización del Tratado del Atlántico Norte
OTS	<i>On the Spot</i>
PAP	Proteger, asegurar y preservar
PICS	<i>Pedestrian Injury Causation Study</i>
PCDS	<i>Pedestrian Crash Data Study</i>
PCE	Principio de Conservación de la Energía
PCMA	Principio de Conservación del Momento Angular
PCML	Principio de Conservación del Momento Lineal
PENDANT	<i>Pan-European Co-ordinated Accident and Injury Database</i>
PIEV	Percepción, Intelección, Evaluación y Volición
PF	Posición Final
PMHS	<i>Post-mortem Human Subject</i>
POI	Posición de Impacto
PNE	Posición de No Escape
PPP	Posición de Percepción Posible
PPR	Posición de Percepción Real
PROSES	Procesamiento secuencial de la escena del siniestro

<i>RAAEWG</i>	<i>Road Accident Analysis Expert Working Group</i>
<i>RHT</i>	<i>Risk homeostasis theory</i>
<i>RECECIR</i>	<i>Red Española de Centros Científicos de Referencia</i>
<i>ROSAT</i>	<i>ROad Strategy for Accidents in Transport</i>
<i>SAE</i>	<i>Society of Automotive Engineers</i>
<i>SAMUR</i>	<i>Servicio de Asistencia Municipal de Urgencia y Rescate</i>
<i>SARAC</i>	<i>Safety Assessment of cars based on Real-world Crashes</i>
<i>SI</i>	<i>Sistema de Información</i>
<i>SINRAT</i>	<i>Sistema Informático de Reconstrucción de Accidentes de Tráfico</i>
<i>SCM</i>	<i>Swiss Cheese Model</i>
<i>SIR</i>	<i>Scientific Information Retrieval</i>
<i>SNAC</i>	<i>SafetyNet Accident Causation System</i>
<i>SRK</i>	<i>Skills, Rules and Knowledge</i>
<i>STAIRS</i>	<i>Standardisation of Accident and Injury Registration Systems</i>
<i>SSM</i>	<i>Single Segment Model</i>
<i>TCE</i>	<i>Traumatismos Craneoencefálicos</i>
<i>TGS</i>	<i>Teoría General de Sistemas</i>
<i>TRACE</i>	<i>Traffic Accident Causation in Europe</i>
<i>TRL</i>	<i>Transport Research Laboratory</i>
<i>TTI</i>	<i>Thoracic Trauma Index</i>
<i>TU-Dresden</i>	<i>Universidad Técnica de Dresde</i>
<i>UC3M</i>	<i>Universidad Carlos III de Madrid</i>
<i>UN</i>	<i>United Nations</i>
<i>UNECE</i>	<i>United Nations Economic Commission for Europe</i>
<i>UNICEF</i>	<i>United Nations International Children's Emergency Fund</i>
<i>VRU</i>	<i>Vulnerable Road Users</i>
<i>VSRC</i>	<i>Vehicle Safety Research Centre</i>
<i>WAD</i>	<i>Wrap Around Distance</i>
<i>WHO</i>	<i>World Health Organization</i>
<i>WSTC</i>	<i>Wayne State Tolerance Curve</i>



# **CAPÍTULO 1**

## **INTRODUCCIÓN**

### **I. PLANTEAMIENTO Y JUSTIFICACIÓN DE LA TESIS**

Esta tesis tiene como punto de partida de su planteamiento la siguiente cuestión ¿Cómo se debería diseñar, alimentar y utilizar una base de datos de investigaciones en profundidad sobre siniestros viales? A lo largo de su texto se pretende demostrar que es posible y necesario realizar un diseño científico de este tipo de bases de datos. La metodología utilizada para llevar a cabo este diseño parte del esbozo de un Modelo Secuencial del Siniestro Vial (MOSES) que va a permitir, a continuación, definir un método de investigación de este tipo de fenómenos. Esta metodología debe ser realista, completa y adecuada. La comprobación de la parte teórica de la tesis se llevará a cabo aplicando tanto el modelo como el método de investigación a una concreta tipología de siniestros viales: el atropello a peatón. La confluencia de modelo y metodología en la investigación y reconstrucción de casos reales de atropellos a peatones tiene que permitir determinar los datos necesarios para que el proceso de aplicación sea posible. Finalmente, se pretende elaborar una base de datos en profundidad con un módulo específico aplicable a los atropellos a peatones como una de las tipologías más problemáticas en el conjunto del fenómeno de la siniestralidad.

La justificación de la elección del tema de la tesis, - la investigación del atropello a peatones-, viene avalada por diferentes razones, entre las que cabe destacar su dimensión como problema humano, social, jurídico y económico.

#### **1. LA INVESTIGACIÓN SOBRE EL SINIESTRO VIAL**

El sistema de tráfico terrestre encaja a la perfección en lo que se ha denominado recientemente como un sistema socio-tecnológico. En este tipo de modernos sistemas complejos, el ser humano, -el conductor-, interactúa con la tecnología, -el vehículo-, en un determinado entorno, -la vía y sus circunstancias- con arreglo a un complejo conjunto de normas, -marco normativo-, todo ello en un medioambiente que rodea al sistema en su conjunto, y se producen una serie de resultados a consecuencia de su interacción. La teoría sociotecnológica afirma que los hombres y las instituciones son partes integrales del sistema técnico. En el sistema de tráfico terrestre los aspectos organizativos, -el sistema normativo-, pretenden conseguir mantener la seguridad del sistema minimizando los riesgos presentes en el mismo. Por este motivo, puede afirmarse que el estudio de los sistemas complejos requiere la comprensión de las interacciones e interrelaciones, entre los factores humanos, técnicos, sociales y organizativos del sistema considerado en su conjunto.

En este entorno teórico se puede definir la seguridad como la ausencia de riesgos inaceptables de causar la muerte o lesiones a las personas, tanto directa como indirectamente, o de afectar a sus bienes o al medioambiente (Qureshi, 2008, p. 1).

El principal problema para la seguridad del sistema de tráfico terrestre lo constituye el siniestro vial, entendido este como el fenómeno que ocasiona, en el sistema de transporte terrestre, un resultado dañoso para las personas o sus bienes debido a una serie de interrelaciones defectuosas o negativas entre los elementos que componen ese sistema. Desde un punto de vista estrictamente humano el siniestro vial fue definido por la Organización Mundial de la Salud (OMS-WHO), primero como un elemento epidémico (Norman, 1962, p. 9) y más recientemente como una pandemia (Peden, et al., 2004, p. 4), como dato relevante que soporta esas afirmaciones baste señalar que se estima que las lesiones a consecuencia de siniestros viales son la octava causa global de muerte en el mundo, con un impacto similar al que causa la malaria (WHO, 2013a, p. 1).

Continuando con el razonamiento anterior y coherentemente, el atropello a peatones, como una de las tipologías del siniestro vial, puede ser catalogado también como una epidemia de dimensiones mundiales, que causa miles de víctimas y deja unos costes humanos, sociales y económicos, que a pesar de la dificultad de su cálculo o estimación, pueden calificarse como desorbitados.

El estado actual de la cuestión a nivel mundial puede ser calificado, cuando menos, de preocupante, de ahí que la propia Asamblea General de las Naciones Unidas aprobará el día 22 de mayo de 2003 su Resolución número 5/309 a la que título como Crisis de Seguridad Vial en el mundo. La Resolución número 58/9, de 5 de noviembre de 2003, de ese mismo organismo expresó su gran preocupación por el rápido aumento, en particular en los países en desarrollo, del número de muertos y heridos causados por las diferentes tipologías de siniestros viales en todo el mundo.

Para poner un poco de orden en la materia la Asamblea General en su resolución núm. 58/289, de 14 de abril de 2004, confirió a la Organización Mundial de la Salud un mandato para coordinar las cuestiones de seguridad vial en el sistema de las Naciones Unidas, cooperando estrechamente con las comisiones regionales de las Naciones Unidas. Esta invitación fue aceptada en mayo de 2004, cuando la Asamblea Mundial de la Salud aprobó la resolución WHA 57.10, por la cual se autorizaba que la OMS-WHO a iniciar sus actividades como organismo coordinador del esfuerzo mundial en materia seguridad vial. Una de sus primeras actuaciones fue la creación del Grupo de colaboración de las Naciones Unidas para la seguridad vial, en cuya composición se encuentran organizaciones internacionales del sistema de las Naciones Unidas y organizaciones internacionales de seguridad vial. En junio de 2007 el Grupo se componía de ocho organizaciones enmarcadas de las Naciones Unidas, incluida la OMS, el Banco Mundial, las cinco comisiones regionales y el Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia (UNICEF), y en el cual están representados otros 29 organismos internacionales que trabajan en el ámbito de la seguridad vial y que cuentan con una amplia gama de aptitudes y experiencia.

En la actualidad, la Organización Mundial de la Salud afirma que la siniestralidad vial a nivel mundial ocasiona un total 1,24 millones de muertos, que afectaron de manera desproporcionada a los habitantes de los países de ingresos bajos y medianos, y añade que fruto de esta siniestralidad quedan discapacitadas anualmente entre 20 millones y 50

millones de personas en el planeta (WHO, 2013a, p. 1). Solo estas cifras sirven para darse cuenta de la magnitud del problema de la siniestralidad vial, que constituye, sin lugar a dudas, una autentica pandemia para la humanidad.

Se dispone de pocos datos sobre los costos de la siniestralidad en las vías públicas, en particular en los países de ingresos bajos y medios, pero está claro que la repercusión económica de los traumatismos sobre las personas, las familias, las comunidades y los países es enorme, hasta el punto de costar a estos últimos de 1% a 3 % de su producto nacional bruto (United Nations, 2009), aunque otras estimaciones la sitúan en torno al punto medio de ese intervalo (Jacobs, et al., 2000, p. 25)E.

Y lo que es peor, los datos de la OMS y del Banco Mundial muestran que, si no se adoptan las medidas necesarias, estos traumatismos aumentarán drásticamente de aquí a 2030, sobre todo en los países donde la cantidad de vehículos motorizados aumenta con rapidez (WHO, 2013b; WHO, 2014).

*Tabla 1: Personas muertas en siniestros viales, estimación de 2012 y proyección estadística (2015-2030)*

AÑO	MUNDO	AFRICA	AMÉRICA	MEDITERRANEO ESTE	EUROPA	ASIA SUDESTE	PACIFICO OESTE
2012	1254526	200841	154164	133334	88346	337483	337329
2015	1423355	233691	124035	145651	57140	413660	361221
2030	1853581	488021	131289	42997	38075	612080	275071
CAMBIO 2012-2030	47,75%	142,99%	-14,84%	-67,75%	-56,90%	81,37%	-18,46%

Aun así, la última de las resoluciones citadas de la Asamblea de las Naciones Unidas reconoce que las lesiones causadas por siniestros viales constituyen un problema que puede prevenirse y corregirse.

La experiencia indica que la voluntad política y el compromiso de alcanzar una gestión eficaz de la seguridad permitirán lograr una pronta e importante reducción de las víctimas de los traumatismos causado por el tráfico. Entre las medidas necesarias para que tal reducción sea eficaz, la OMS incluye las siguientes (Penden et al., 2004):

- Un enfoque científico del problema
- La creación de capacidad de investigación nacional y regional
- Promover un enfoque multidisciplinario de la seguridad vial.
- El establecimiento de metas y planes
- La cooperación institucional entre los diferentes sectores.
- Establecer sistemas de recolección de datos diseñados para compilar y analizar la información, y asegurar que esta sea efectivamente utilizada en el mejoramiento de la seguridad.



- Recolectar sistemáticamente datos relacionados con la salud acerca de la magnitud, las características y las consecuencias de las colisiones.
- Un análisis y una interpretación cuidadosos de datos de calidad.
- Seguir mejorando la seguridad de los vehículos mediante investigación y desarrollo permanentes.

Con estas medidas se pretende conseguir un conjunto de metodologías prácticas de recolección de información que puedan ser utilizadas en todo el mundo, alcanzado de esta forma la obtención de un conjunto mínimo de datos.

A nivel europeo la concienciación frente al problema de la siniestralidad vial tiene como protagonistas a las instituciones que conforman la Unión Europea (*European Union, EU*) y al Consejo Europeo de Ministros de Transporte (*European Conference of Ministers of Transport, ECMT*). En 2001, el Libro Blanco del Transporte de la Comisión de las Comunidades Europeas, –COM (2001) 370 final–, afirmaba que de todos los modos de transporte, el transporte por carretera es el más peligroso y el que más vidas humanas sacrifica. A continuación añadía que la inseguridad vial era, y es, una de las mayores preocupaciones de los ciudadanos europeos, quizás incluso su primera preocupación

La Unión Europea se planteó durante la primera década del siglo XXI un objetivo comunitario ambicioso, nada más y nada menos, que conseguir reducir a la mitad del número de muertes en carretera. La receta a emplear era simple de plantear y difícil de ejecutar, La meta trazada se trataba de conseguir mediante una acción integrada que tuviese en cuenta la dimensión humana y técnica del sistema vial y lograse incrementar la seguridad de la red transeuropea de carreteras.

En el Programa de acción europeo de seguridad vial, –COM (2003) 311 final de 2 de junio de 2003–, volvió a insistirse en esa meta. A juicio de la Comisión, en la búsqueda de la seguridad vial no valen las iniciativas aisladas sino que su logro debe ser fruto de un tratamiento integral y multidisciplinar del fenómeno. Una de las líneas de trabajo de este programa se centra en la mejora de la recogida, análisis y divulgación de los datos sobre siniestros viales.

Tres años después en una Comunicación de la Comisión en la que se hacía un balance intermedio de los resultados del Programa de Acción Europeo de Seguridad Vial (SEC(2006) 221) se asegura que para lograr ese objetivo y frenar la siniestralidad vial era necesario que, junto a las investigaciones tradicionales de las autoridades policiales, judiciales o de las compañías de seguros, se articulen investigaciones técnicas independientes, cuyos resultados se orienten hacia las causas de los siniestros viales y los medios de mejorar la legislación.

Estas investigaciones independientes deberían realizarse a escala nacional, pero de acuerdo con una metodología europea. Los resultados deberían comunicarse a un comité de expertos independientes, con sede en la Comisión, encargado de mejorar la legislación vigente y de adaptar la metodología, especialmente en función de la evolución técnica (Monclús González, et al., 2006, p. 9). Se puede advertir que en este proceso unificador de la metodología ya existen dos iniciativas diferentes: una, a nivel mundial encabezada

por el grupo de expertos de la Organización Mundial de la Salud; y otra, a nivel europeo liderada por el grupo de expertos que asesoran a la Comisión en esta materia.

En España, siguiendo las directrices de la Unión Europea, se elaboró un Plan Estratégico de Seguridad Vial para el cuatrienio 2005-2008. En este documento se estableció un objetivo general de reducción del 40 % de los fallecidos en siniestros viales a treinta días, en el periodo del plan, tomado el año 2003 como año base de referencia para dicho cálculo (DGT, 2005, p. 30).

Como parte integrante de este Plan se plantearon un amplio conjunto de Acciones Estratégicas Claves, entre las que destaca conseguir una mayor información sobre los siniestros viales que sea coordinada y orientada a mejorar la seguridad vial. Para conseguir esta meta se establecen dos ideas fuerza (DGT, 2005, p. 49):

- Un modelo de gestión basado en el conocimiento. Es necesario disponer de mejores métodos de obtención de información que permitirán orientar mejor las actuaciones y decisiones, concretándose en una mejora continua de la seguridad vial. La Dirección General de Tráfico (DGT) del Ministerio del Interior va a impulsar, en este sentido, un plan de gestión del conocimiento en temas de seguridad vial, vinculando a todas las administraciones y al resto de los agentes implicados.
- Una mejor coordinación y difusión de las investigaciones. Es preciso dirigir los esfuerzos en materia de estudios e investigaciones, mejorando su coordinación y vinculación con las actuaciones prioritarias y los resultados a alcanzar.

El 25 de febrero de 2011 el consejo de Ministros acordó aprobar las líneas básicas de la política de seguridad vial 2011-2020, y uno de los ámbitos de intervención estratégica se encuentra dedicado a la investigación relacionada con la seguridad vial estableciendo como aspectos clave (DGT, 2011, p. 173):

- Acometer estudios que permitan caracterizar los perfiles de accidentalidad de los colectivos claves de la Estrategia y principales factores de riesgo. Realizar estudios que nos permita conocer y caracterizar los distintos perfiles los colectivos.
- Desarrollar de forma selectiva los análisis “en profundidad” y sistematizar los resultados. Extender de forma selectiva los análisis en profundidad de los accidentes. Construir una base de datos, alimentada por los resultados de los análisis con carácter científico que lleven a cabo centros de investigación de seguridad vial españoles en el que se trate de determinar cuáles han sido las causas determinantes de los accidentes y factores que hayan influido.

La Universidad española no ha podido permanecer ajena a este problema de dimensiones planetarias, sino que debe emplearse a fondo en la investigación del siniestro vial desde todos los puntos de vista posibles. Entre las iniciativas que se han venido desarrollando en España en esta materia, se cita al grupo de Investigación MECATRAN (Mecánica Experimental, CÁlculo y TRANsportes), perteneciente al Departamento de Ingeniería Mecánica de la Universidad Carlos III de Madrid, que tiene entre sus

prioridades la investigación y reconstrucción de siniestros viales (UC3M, 2014). Por este motivo no es extraño que entre las líneas de investigación del Doctorado en Ingeniería Mecánica y de Organización industrial se encuentre la ingeniería de tráfico y la reconstrucción de siniestros viales.

La primera justificación de la elección del tema de la tesis, la investigación de siniestros viales, es fácilmente formulable debido a que la siniestralidad vial es un problema de grandes dimensiones con unas perspectivas de evolución nada halagüeñas, salvo que se articulen medidas eficaces y efectivas que reduzcan su incidencia en los seres humanos.

## **2. UN MODELO GENERAL SOBRE EL SINIESTRO VIAL**

Parece obvio que existe un unánime consenso en la necesidad de investigar sobre el fenómeno del siniestro vial, lo que no resulta tan claro es como hacerlo, quienes deben involucrarse, con qué medios tienen que contar, con qué metodología han de actuar y cuáles son los fines que deben perseguirse con esta actividad.

A este respecto se apuntó en la década de los ochenta del siglo pasado que existían, al menos, cinco diferentes percepciones del fenómeno del siniestro vial, cuarenta y cuatro razones diferentes para investigarlos, siete procesos diferentes de investigación, seis metodologías distintas y tres diferentes tipos de resultados (Benner, 1980, p. 27). De donde puede concluir que existía una falta de uniformidad en el marco conceptual en el que se desenvuelve la investigación de siniestros viales y la seguridad vial.

No es extraño que frente a esta dispersión, la Organización para la Cooperación y el Desarrollo en Europa (*Organization for Economic Co-operation and Development*, OECD) enfatice la necesidad de utilizar teorías y modelos en la investigación sobre seguridad vial y en la implementación de medidas para su consecución. En 1995, se estableció en el seno de ésta institución un Grupo Científico de Expertos en Modelos de Seguridad Vial. Como resultado de sus trabajos, se confeccionó una clasificación de los modelos utilizados, con mayor frecuencia, en las investigaciones sobre seguridad vial, en general, y sobre siniestros viales, en particular, que además no coincidía con los expuestos por Benner. Los modelos, y sus consecuentes vías de aproximación al fenómeno, son nominados de la siguiente manera (OECD, 1997, p. 9; OECD, 2000, p. 5):

- Modelos descriptivos.
- Modelos predictivos para datos totales.
- Modelos de riesgo para datos no totales.
- Modelos de consecuencias del siniestro.
- Modelos para implementación.

Después de analizar con exhaustividad estas cinco tipologías de modelos, el informe concluye que (OECD, 2000, p. 5):

- La seguridad vial se puede estudiar desde arriba abajo, desde la globalidad de los datos sobre siniestros, o desde abajo a arriba, desde el siniestro vial considerado individualmente. Estos enfoques deberían ser conectados y coordinados en futuros trabajos, ya que hay pocos trabajos que intente conectar el nivel de investigación individual con los modelos de siniestralidad a nivel global.
- Las investigaciones en el futuro deberían analizar las metodologías para desarrollar y mejorar los datos sobre siniestros viales para poder ser utilizados ampliamente en investigaciones sobre seguridad. Una estandarización de los datos resultará útil para ese propósito y, además, servirá para realizar comparaciones internacionales sobre seguridad vial. A este respecto, se debería potenciar el papel de la Base de Datos Internacional sobre Tráfico y Siniestros Viales de la OCDE (*International Road Traffic and Accident Data Base, IRTAD*).

Como una de las consecuencias lógicas de este planteamiento inicial se adivina la conveniencia de desarrollar un modelo general del siniestro vial dentro del marco del sistema vial, de acuerdo con ese enfoque sistémico. De esta forma cuando se observe, analice y estudie el comportamiento del sistema vial a través de una representación o modelo del mismo se establece una relación entre ese modelo general y la realidad del fenómeno que pretende representar. Esta relación determina implícitamente la información necesaria para aplicar el modelo y que este funcione mediante cualquier sistema de simulación. En otras palabras la formulación de un modelo de siniestro vial determina, implícitamente, los datos necesarios que se deben conseguir a través de la investigación de los casos reales, para conseguir que el modelo pueda servir como medio para simular la realidad. Cuanto más detallado, sofisticado y complejo sea un modelo mayor número de parámetros y variables necesitará para poder ser aplicado y por lo tanto demandará una investigación en mayor profundidad realizada con una mayor exhaustividad sobre cada tipología de siniestros.

En base a lo anterior se convierte en necesario punto de partida de esta investigación la utilización de un modelo explícito, claro y preciso de siniestro vial que sirva de guía y referencia en todo el proceso de elaboración esta tesis, desde la formulación de las preguntas de partida pasando por las hipótesis que responderían a esas cuestiones y su verificación de acuerdo con el método científico. El Modelo Secuencial de Eventos del Siniestro vial (MOSES) se ha formulado a partir de la Teoría General de Sistemas y como una evolución racional de los modelos preexistentes, para lo cual se ha realizado una revisión del estado del arte en la materia, y siempre teniendo en cuenta la naturaleza concreta del sistema vial y las características propias del siniestro vial como fenómeno humano observable.

Por otro lado, existe una perentoria necesidad de unificar el marco conceptual en torno al siniestro vial porque de esta forma se permitiría partir de un modelo del fenómeno para trazar una metodología de investigación adecuada y realista.

### **3. UNA METODOLOGIA DE INVESTIGACIÓN PROPIA**

Los autores que formularon los primeros modelos avanzados de siniestros hicieron notar que una de sus principales utilidades es servir como estructura fundamental de la

metodología de la investigación. Por ejemplo, en el modelo MORT (*Management Oversight and Risk Tree*) que se basa en los sistemas de árboles lógicos como forma estructurada de descripción del siniestro, esos árboles pueden, simultáneamente, ser utilizados de guía para organizar la correspondiente investigación con la que se deben determinar los hechos que conforman el siniestro (Johnson, 1973, p. 133).

Basándose en ese planteamiento, de acuerdo con el modelo MOSES que se pretende formular se podrán determinar los datos que se deberían extraer de toda investigación para aplicarlo correctamente a un supuesto real. En base a un certero análisis de estas necesidades de información se fijará la metodología a utilizar por el investigador de siniestros viales.

La literatura sobre la metodología de la investigación de siniestros viales es considerablemente superior a la dedicada a los modelos del fenómeno. En esta materia el planteamiento de esta tesis intenta introducir los principios y el método de la Criminalística en el procesamiento de la escena de un siniestro vial, eliminando de plano la diferenciación entre la metodología de la investigación policial y la seguida por otros investigadores adscritos a otras múltiples disciplinas.

La metodología, basada en el modelo MOSES, debe ser realista desde dos puntos de vista: en primer lugar, debe poder aplicarse en cualquier supuesto real con los medios ordinarios que puede tener cualquier investigador, ya sea por cuenta de una institución pública o una entidad privada, y, además, no debe encarecer de tal forma el proceso de adquisición de datos que haya que acudir a la metodología de muestreo estadístico.

En el fondo se trata de conseguir con esta metodología un difícil equilibrio entre la profundidad de la investigación y sus costes, buscando la máxima eficiencia posible para el actual grado de desarrollo tecnológico e intentado poder aplicarla masivamente en todos los siniestros viales con víctimas.

La introducción de las herramientas de simulación informáticas con sus potentes módulos de cálculo, más allá de su capacidad de representación virtual, permitirán que las hipótesis planteadas por los investigadores y sus cálculos analíticos se vean respaldados o refutados permitiendo de esta forma afrontar el análisis de las causas desde una sólida posición, aunque conociendo las limitaciones de cada uno de los programas utilizados.

#### **4. LA INVESTIGACIÓN EN PROFUNDIDAD DE LOS SINIESTROS VIALES**

Resulta una obviedad afirmar que los datos sobre siniestros viales son fundamentales para mejorar la seguridad vial, en general, y el nivel de seguridad activa y pasiva de los vehículos de motor.

Para cubrir esa necesidad fue la Organización del Tratado del Atlántico Norte (OTAN) la que a mediados de la década de los años sesenta planteó la necesidad de realizar, lo que denominó, investigaciones en profundidad sobre los siniestros, en general, y sobre los siniestros viales en particular (Ashton, et al., 1985, p. 366). Este planteamiento solo intentaba poner el énfasis en la sistematicidad y rigurosidad de las investigaciones y en la calidad de los datos obtenidos de esta forma. De hecho en las investigaciones sobre

siniestros aéreos se implantó un sistema de investigaciones en profundidad sobre cada uno de los casos que se producen. La metodología de este tipo de investigaciones no es aplicable a los siniestros viales por su diferente magnitud.

La metodología utilizada en el proyecto europeo EACS (*European Accident Causation Survey*) se basa en que solamente a través de la investigación científica de los siniestros viales en la fase de preimpacto, combinándolo con detallados aspectos técnicos y los datos sobre el comportamiento del conductor se puede comprender cómo y por qué suceden este tipo de fenómenos, y se puede evaluar la efectividad de las soluciones adoptadas, todo ello simultáneamente con las simulaciones y los experimentos a gran escala (Chenisbest, et al., 1998, p. 414).

En 2006 y en el campo de la Seguridad vial el informe final del Grupo de Expertos de la Unión Europea, que aconsejaba la estrategia a adoptar para reducir los siniestros en el campo de los transportes, apuntaba la necesidad de llevar a cabo investigaciones en profundidad sobre las causas y circunstancias de un número representativo de los siniestros viales que se deberían llevar a de manera sistemática y permanente (Monclús González, et al., 2006, p. 6). Estas investigaciones contribuirán a identificar las medidas factibles a aplicar y a definir las prioridades en la adopción de esas medidas desde un punto de vista de la eficiencia de los costes.

Frente al informe anterior, que clamaba por cuerpos independientes de investigadores para realizar esas investigaciones en profundidad, el planteamiento realizado en este trabajo, sin negar la posibilidad de integrar en los equipos personas con formación especializada en diferentes campos de conocimiento, pasa por conseguir integrar, desde una visión científica criminalística, los niveles tradicionales de investigación de siniestros viales en aras a conseguir maximizar la eficacia en la recolección de datos manteniendo los costes dentro de unos límites realistas y asumibles por los Estados europeos.

## **5. APLICACIÓN PRÁCTICA AL ATROPELLO A PEATÓN**

Una vez desarrollado el modelo general del siniestro vial y su metodología asociada es necesario comprobar su aplicabilidad y su comportamiento en la práctica. Se plantea en este momento una disyuntiva, se puede realizar y aplicar una base de datos genérica que sea aplicable de cualquier tipología de siniestros viales y elegir una serie de casos reales heterogéneos de una determinada área o, por el contrario, se puede diseñar una base de datos genérica y aplicarla a una determinada tipología de siniestros viales elegida de acuerdo con criterios razonables y lógicos.

Por este motivo se analizaron las diversas tipologías de siniestros, entre otras, las colisiones de vehículos, las colisiones con vehículos pesados, las colisiones con motocicletas y ciclomotores y los atropellos a peatones. La decisión adoptada consistió en aplicar, en la práctica, esta metodología a supuestos de atropellos a peatones debido a una serie de hechos y razonamientos que no pueden pasar inadvertidos para nadie.

En primer lugar, en la actualidad más de 270 000 peatones pierden sus vidas en las vías públicas de todos los países del mundo cada año lo que supone 22% del total de muertes producidas en siniestros viales (WHO, 2013c). Por lo tanto, el atropello a peatones puede ser catalogado como epidemia de dimensiones mundiales, que causa

miles de víctimas y deja unos costes humanos, sociales y económicos, que a pesar de la dificultad de su cálculo o estimación, pueden calificarse como desorbitados.

En la mayoría de los países, las muertes por atropello se encuentran sobredimensionadas dentro del grupo total de defunciones producidas por el resto de tipologías de siniestros viales, pero esta tendencia es más acusada en los países en vías de desarrollo. Esta conclusión se ofrece evidente al comprobar el gráfico abajo inserto (IRTAD, 2013, p. 8).

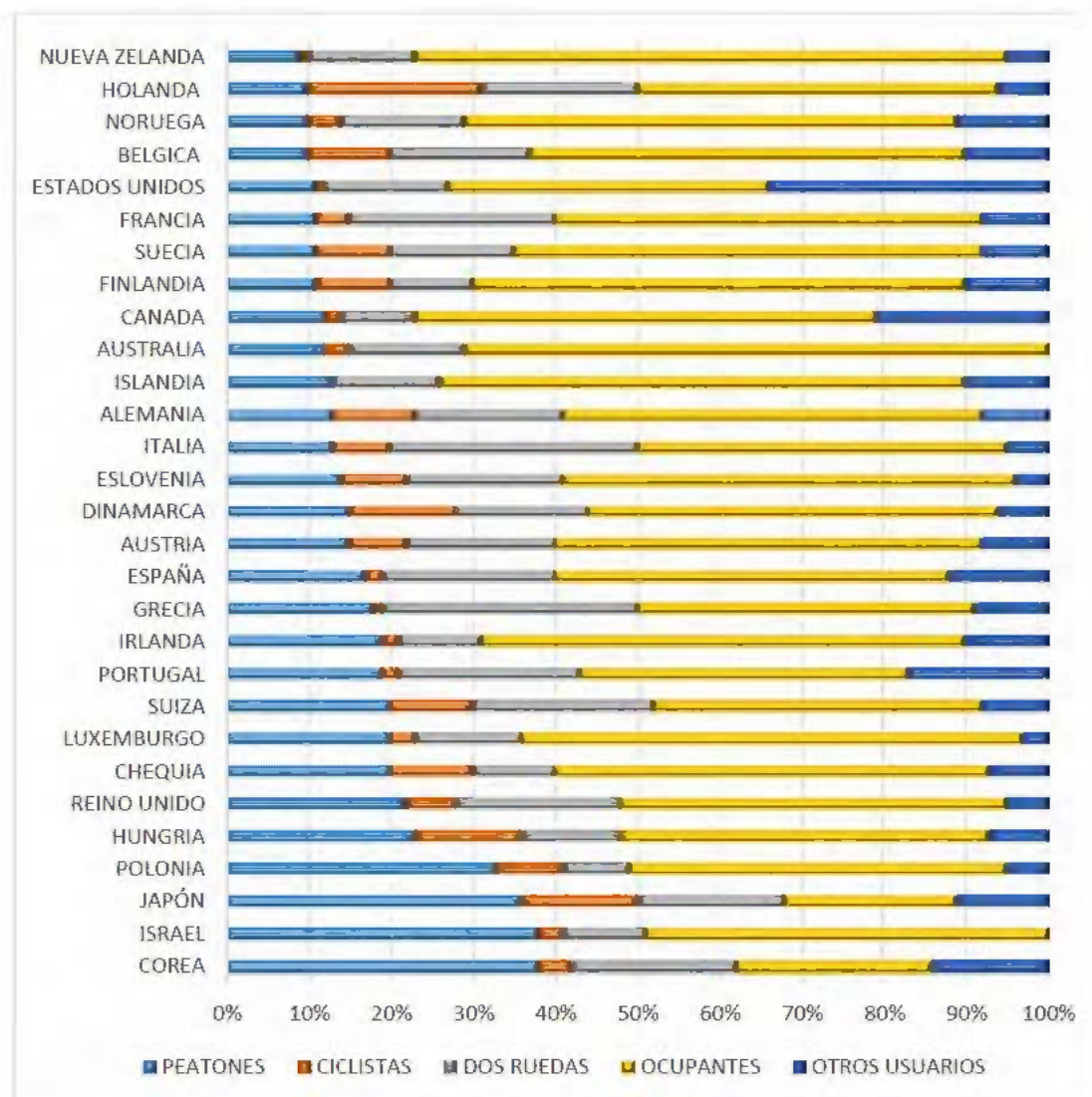


Figura 1: Contribución a la mortalidad de cada tipología de siniestros viales

En las dos terceras partes de los siniestros viales que ocurren en Nueva Delhi (India) intervienen autobuses o camiones, pero un importante porcentaje de las personas que fallecen o resultan gravemente heridas no son ni pasajeros ni conductores, sino usuarios vulnerables de la vía que no viajaban en los vehículos (Chawla, 2000, p. 34).

En la década de los años ochenta del siglo pasado la OECD comenzó sus primeros trabajos sobre los siniestros viales en los cuales estaban implicados peatones. Esta institución acuñó el concepto de Usuarios Vulnerables de la Vía (*Vulnerable Road Users, VRU*), entendiendo como tales a los peatones, los ciclistas y los conductores de



ciclomotor (OECD, 1998, p. 9), que ha servido como base de una serie de recomendaciones sobre seguridad vial de la Conferencia Europea de Ministros de Transporte.

En Europa la Tercera Semana de la Seguridad Vial, instaurada bajo los auspicios de la Organización de las Naciones Unidas, celebrada entre el 1 y el 7 de mayo de 2000 se dedicó a los usuarios vulnerables de la carretera bajo el lema “compartir la carretera aumenta la seguridad”.

En la Unión Europea, en 2010, se produjeron alrededor de seis mil muertos anuales por atropellos a peatones (Brandstaetter, 2012, p. 19), aunque esa cifra está en franco descenso desde 2001, la Comisión Europea sigue considerando entre sus objetivos para la segunda década del siglo XXI la protección de peatones y ciclistas, a los que sigue viendo como personas especialmente vulnerables en el campo de seguridad vial (Comisión Europea, 2010, p. 11).

En la tabla siguiente se pueden observar las cifras de muertos por atropello en la década 1996-2011 y la evolución de cada país en cuanto a esta fuente de mortalidad (European Union Commission, 2014):

*Tabla 2: Personas muertas por atropello en la década 1996-2011*

PAIS	Año 1999	Año 2000	Año 2001	Año 2002	Año 2003	Año 2004	Año 2005	Año 2006	Año 2007	Año 2008	Año 2009	Año 2010	Año 2011
Austria	182	140	117	160	132	132	97	110	108	102	101	98	87
Bélgica	154	142	158	127	113	101	108	122	104	99	103	106	111
Bulgaria	312	316	311	271	263	243	265	273	271	278	198	174	149
Chipre	22	22	21	17	17	18	23	19	17	16	9	13	13
Rep. Checa	342	362	322	308	290	281	298	202	232	238	176	168	ND
Dinamarca	82	99	49	63	49	43	44	60	68	58	52	44	ND
Estonia	82	79	60	59	43	59	50	64	38	41	24	14	26
Finlandia	67	62	62	40	59	49	45	49	48	53	30	35	41
Francia	932	838	822	866	626	581	635	535	561	548	496	485	519
Alemania	983	993	900	873	812	838	686	711	695	653	591	476	614
Grecia	399	375	338	279	257	293	234	267	255	248	202	179	ND
Hungría	396	346	355	378	299	326	289	296	288	251	186	192	ND
Irlanda	92	85	89	86	64	66	72	72	81	49	40	44	ND
Italia	847	982	1032	1226	871	810	786	758	627	648	667	614	589
Letonia	202	233	186	181	181	197	174	153	158	105	82	79	60
Lituania	269	235	253	239	218	263	263	243	235	175	121	108	110
Luxemburgo	2	11	11	6	7	12	2	10	7	6	12	1	ND
Malta	5	3	5	0	5	2	6	4	3	3	4	2	ND
Holanda	111	106	106	97	97	68	83	66	86	56	63	ND	ND
Polonia	2481	2256	1866	1987	1879	1987	1756	1802	1951	1882	1467	1235	1408
Portugal	393	384	337	339	280	233	214	156	156	136	130	195	199
Rumania	1178	1110	1088	1101	944	1059	978	1034	1113	743	729	633	ND
Eslovaquia	192	60	49	191	195	196	174	214	217	184	104	133	ND
Eslovenia	61	60	42	41	38	35	37	36	32	39	24	26	21
España	906	899	846	776	786	683	680	614	591	502	470	471	380
Suecia	86	73	87	58	55	67	50	55	58	45	44	31	53
Reino Unido	909	889	858	808	802	694	699	697	663	572	524	405	ND
EU27 TOTAL	11687	11160	10370	10577	9382	9336	8748	8622	8663	7730	6649	5961	4380



Aún en 2010, con las cifras de siniestralidad en Europa en claro descenso, los peatones, alrededor de 6000 muertos en la EU-27, y los ciclistas seguían siendo un colectivo especialmente vulnerable. Si dentro de los diferentes usuarios que conforman el concepto VRU no hay duda en considerar a los peatones como el colectivo más vulnerable, resulta obvio que las personas mayores, dentro de ese grupo, se encuentran sobrepuestas al riesgo de resultar muertas en un atropello. Así, mientras que los mayores de 65 años muertos en siniestros viales han disminuido un 31 % en la Unión Europea entre 2001 y 2010, de 3403 a 2351, el número total de peatones muertos disminuyó tan solo un 38 % (DaCoTA, 2012a, p. 6).

La tendencia de las víctimas de atropellos a peatones en España es claramente descendente, aunque las cifras tanto absolutas como relativas de muertos y heridos son todavía elevadas, como puede comprobarse en la Tabla 3 (DGT, 2013).

Tabla 3: Lesividad de los atropellos a peatones

AÑOS	VÍA INTERURBANA			ZONA URBANA			CIFRAS GLOBALES		
	Total (*)	Muertos	Heridos	Total	Muertos	Heridos	Total	Muertos	Heridos
1980	3878	742	3136	12913	422	12491	16791	1164	15627
1981	3645	662	2983	12554	456	12098	16199	1118	15081
1982	3191	628	2563	11820	391	11429	15011	1019	13992
1983	3384	611	2773	13829	472	13357	17213	1083	16130
1984	3319	589	2730	13680	435	13245	16999	1024	15975
1985	3441	624	2817	14104	400	13704	17545	1024	16521
1986	3727	724	3003	14582	446	14136	18309	1170	17139
1987	3614	647	2967	15604	433	15171	19218	1080	18138
1988	3540	655	2885	16178	465	15713	19718	1120	18598
1989	3445	745	2700	15541	503	15038	18986	1248	17738
1990	3232	706	2526	14206	480	13726	17438	1186	16252
1991	3027	615	2412	13720	440	13280	16747	1055	15692
1992	2760	593	2167	12039	336	11703	14799	929	13870
1993	2456	607	1849	11544	497	11047	14000	1104	12896
1994	2216	521	1695	11765	487	11278	13981	1008	12973
1995	2228	520	1708	11697	480	11217	13925	1000	12925
1996	2107	504	1603	11842	456	11386	13949	960	12989
1997	2120	466	1654	11624	501	11123	13744	967	12777
1998	2105	492	1613	11798	503	11295	13903	995	12908
1999	2189	458	1731	10933	448	10485	13122	906	12216
2000	2088	451	1637	11410	447	10963	13498	898	12600
2001	1964	469	1495	11094	377	10717	13058	846	12212
2002	1848	433	1415	11056	343	10713	12904	776	12128
2003	1860	424	1436	10742	363	10379	12602	787	11815
2004	1603	340	1263	10518	343	10175	12121	683	11438
2005	1551	348	1203	10073	332	9741	11624	680	10944
2006	1552	317	1235	10518	296	9918	12070	613	11753
2007	1523	287	1236	9906	304	9602	11429	591	10838
2008	1324	236	1088	9822	266	9556	11146	502	10644
2009	1247	201	1046	9640	269	9371	10887	470	10417
2010	1218	193	1025	9705	278	9427	10923	471	10452
2011	1007	158	849	10440	222	10218	11447	380	11067
2012	1123	139	984	10718	198	10520	11841	337	11504

(\*) El cómputo de muertos se realiza a 30 días a partir de 1993 inclusive.

La investigación de siniestros viales en los que se encuentran involucrados peatones lleva un cierto retraso con respecto a otras tipologías (Thomas, 2006, p. 61), por ejemplo las colisiones entre automóviles, las colisiones en las que se encuentran implicados vehículos pesados o autobuses.

La Comisión Económica de las Naciones Unidas para Europa (*United Nations Economic Commission for Europe*, UNECE) señaló, en 2001, a los países europeos la necesidad de mejorar las estadísticas y la investigación en el ámbito de la seguridad de los peatones, sobre todo tomando, entre otras, la iniciativa de procurar que exista la obligación de instruir un atestado en los siniestros viales en los que estén implicados peatones y que la toma de datos en estos supuestos obtenga el mayor nivel de calidad posible.

## **II. INTERES Y GRADO DE INNOVACIÓN**

Si bien es verdad, que con anterioridad se habían desarrollado y diseñado bases de datos en profundidad sobre siniestros viales, en general, y sobre atropellos a peatones, en particular, lo habían sido en función de objetivos limitados a proyectos concretos o en el ámbito de determinados países. La mayor innovación presentada en esta tesis es la metodología de diseño de la base de datos de investigaciones en profundidad sobre siniestros viales, particularmente aplicada a los atropellos a peatones. Partiendo de un modelo general de siniestro vial se debería llegar a formular una metodología general de investigación y recogida de datos, a partir de la cual conseguir llegar a la definición de una base de datos en profundidad sobre atropellos a peatones.

### **1. INTERES**

Hay que subrayar que el interés de la tesis no es conseguir diseñar una base de datos sobre investigaciones en atropellos a peatones con una estructura más o menos afortunada, sino hacerlo de tal forma que la información en ella contenida este basada en un determinado modelo idealizado del desarrollo y evolución del siniestro vial, asegurando que la metodología de investigación diseñada permite recoger esos datos con un coste asumible por cualquier administración pública.

De esta forma se consigue que los datos son obtenidos de una manera científica y sistemática, que la información recogida se encuentra estructurada de acuerdo con una base teórica adecuada y que el diseño, la alimentación y el mantenimiento de esa base de datos es realista y sostenible económicamente. Con este sistema es prudente pensar que a medio plazo es posible investigar todos los siniestros viales con víctimas de una forma más profunda y precisa ya que las demandas de información de la base de datos obligan a los investigadores a utilizar la metodología científica de investigación adecuada y a conocer y dominar el modelo de siniestro vial que la sustenta.

Este modelo debe servir para responder tanto a la pregunta sobre el cómo ha sucedido el siniestro vial tanto como a la pregunta sobre el por qué. El siniestro vial es una desviación del correcto funcionamiento del sistema vial que puede ser estudiado desde una perspectiva sistémica y holística. Por este motivo se deben integrar en un

modelo secuencial de eventos los conocimientos aportados por las diferentes teorías psicológicas que intentan explicar el papel del ser humano en el siniestro vial (estudio del error humano y causas de la siniestralidad) con los datos facilitados por un análisis físico-dinámico de las secuencias de eventos de cada uno de los vehículos o personas implicados. En cada evento se debe determinar la acción, voluntaria o no, de la persona a la cual se atribuye, identificando la fuente de su error. En cada secuencia hay que analizar los factores contribuyentes al accidente en cada uno de los elementos que conforman el sistema del tráfico vial. A cada evento se le deben asignar la causas que lo han motivado, así como los efectos que ha tenido en el resto de implicados teniendo en cuenta los factores presentes en cada una de las secuencias en las que se producen los referidos eventos con factores y errores-causas de cada evento (árbol causal).

El análisis de los modelos de siniestro, en general, y del siniestro vial, en particular, debería permitir vislumbrar una serie de líneas orientadoras para conseguir determinar la metodología de investigación adecuada.

Por otro lado, el diseño de la estrategia de seguridad vial y la adopción de decisiones, tanto preventivas como correctivas, en esa materia deberían estar basadas en el análisis de la información contenida en esta base de datos, a través del uso de herramientas estadísticas y de inteligencia artificial. Si aplicamos este razonamiento a la investigación de los atropellos a peatones, esta tesis puede significar una pequeña contribución a la reciente llamada de la Organización Mundial de la Salud a los gobiernos de todo el mundo para tomar acciones concretas que mejoren la seguridad de los peatones (WHO, 2013c).

En España, la Ley 18/2009, de 23 de noviembre, de modificación del texto articulado de la Ley sobre Tráfico, Circulación de Vehículos a Motor y Seguridad Vial creó el entonces denominado Registro Estatal de Víctimas de Accidentes de Tráfico, ahora llamado Registro Nacional de Víctimas de Accidentes de Tráfico a tenor de la última modificación del citado texto articulado por la Ley 6/2014, de 7 de abril, configurándolo como un instrumento que permitirá disponer de la información necesaria para determinar las causas y circunstancias en que se han producido los siniestros viales, así como las consecuencias de éstos. Se ha creado un fichero de datos de carácter personal correspondiente que garantizará la confidencialidad, seguridad e integridad a lo largo de todo el tratamiento y gestión de los datos de carácter personal de los implicados en siniestros viales con víctimas, contando así con la debida protección.

Para conseguir una mejor calidad de la información que permita un análisis en profundidad de los factores implicados en el siniestro y las consecuencias del mismo, así como para satisfacer las definiciones contenidas en el Glosario de Estadísticas de Transporte de UNECE-Eurostat, especialmente en lo relativo a la definición de fallecido en el plazo de treinta días, ha sido necesaria la remodelación de la base de datos estadística sobre siniestros viales con víctimas mediante Orden INT/2223/2014, de 27 de octubre, por la que se regula la comunicación de la información al Registro Nacional de Víctimas de Accidentes de Tráfico, adaptando su contenido a la evolución técnica experimentada por los vehículos y la infraestructura, e incorporando la información necesaria sobre la identidad y lesiones de las víctimas.

Es necesario determinar cómo debería configurarse esa base de datos sobre siniestros viales, para lo cual se ha elegido como tipología específica, el atropello a

peatones, que quizás por su mayor complejidad se la piedra de toque de la metodología científica que se pretende aplicar.

En el campo de la ingeniería mecánica esta perspectiva permite utilizar la información de la base de datos en proyectos que analicen evidencias, factores, circunstancias y condiciones de los casos reales para realizar avances, por un lado, en la seguridad pasiva de los vehículos mediante la introducción de mejoras en los diseños de todo tipo de vehículos para que sean menos agresivos con los peatones en casos de atropello y, por otro lado, en la seguridad activa comprendiendo los mecanismos perceptivos de conductor para desarrollar mecanismos de detección y alerta temprana para evitar los atropellos antes de que lleguen a producirse.

## **2. GRADO DE INNOVACIÓN PREVISTO**

Si bien es verdad, que con anterioridad se habían desarrollado y diseñado bases de datos en profundidad sobre siniestros viales, en general, y sobre atropellos a peatones, en particular, lo habían sido en función de objetivos limitados a proyectos concretos o en el ámbito de determinados países.

La mayor innovación presentada en esta tesis es la metodología de diseño de la base de datos de investigaciones en profundidad sobre siniestros viales, particularmente aplicada a los atropellos a peatones. Partiendo de un modelo general de siniestro vial se debería llegar a formular una metodología general de investigación y recogida de datos, a partir de la cual conseguir llegar a la definición de una base de datos en profundidad sobre atropellos a peatones.

Como punto de partida para el análisis científico de la seguridad vial se debería adoptar un enfoque sistémico a partir del cual se investigue el sistema de tráfico terrestre y sus elementos componentes: la persona, el vehículo, la vía (Borrel Vives, et al., 1991, p. 67) y la estructura socio-normativa que los une. Estos elementos heterogéneos demandan que el planteamiento de cualquier modelo y metodología para describir y analizar el siniestro vial tengan necesariamente un planteamiento abierto, flexible y multidisciplinar. Otra característica de este modelo que justifica su formulación es su versatilidad para ser aplicado a todas y cada una de las diversas tipologías de siniestros viales y en los diferentes escenarios más habituales para cada una de ellas.

El grado de innovación en MOSES no viene dado por los elementos conceptuales que utiliza, ya que la mayoría de ellos han sido tomados de una profunda, sistemática y metódica revisión del estado del arte en los modelos del siniestro, considerado en términos generales, y de los modelos del siniestro vial en términos específicos. La mayor innovación de este modelo se encuentra en la importancia que se concede al evento crítico que junto a la tipología del siniestro vial permitirá configurar en el futuro escenarios de este tipo de fenómenos, el análisis de las causas de los mismos y las medidas multidisciplinarias que los evitarían o, al menos, los paliarían.

La metodología de investigación, desarrollada a partir del modelo de siniestro vial, busca la optimización de la recopilación de los datos necesarios para considerar que se trata de una investigación en profundidad en relación con los recursos necesarios, humanos y materiales, para su obtención.

En Estados Unidos de Norteamérica, donde la Criminología es una ciencia más completa y avanzada que en Europa, la aplicación de los principios y conceptos de la criminalística tanto a la reconstrucción de escenas de crímenes (Gardner & Bevel, 2009, p. 37; Hueske, 2006, p. 1; Nordby, 2013) como al procesamiento de los siniestros viales (Ziernicki, et al., 2007, p. 2) comienza a ser habitual, en la teoría, y ha iniciado sus primeras experiencias prácticas. En cambio en Europa, a pesar de los tímidos intentos, desde 1998, de creación de una red europea de unidades de investigación y laboratorios de procesamiento de escenas y procedimientos de reconstrucción de siniestros viales (ENFSI, 2014) y de algún artículo (Trapečar, et al., 2012, p. 53) o manual anglosajón (Greuter, et al., 2004, p. 21) en la materia no ha habido un esfuerzo intelectual por conseguir la integración de la criminalística en la investigación de los siniestros viales. Este es uno de los objetivos complementarios de esta tesis.

El orden del protocolo de procesamiento de la escena del siniestro vial se adapta completamente al modelo secuencial expuesto, así frente a otros métodos criminalísticos genéricos, este parte de la determinación de la posición de impacto para desplazarse hacia las posiciones finales a través de las trayectorias de los vehículos para levantar y registrar todos los indicios y evidencias presentes, posteriormente vuelve a la posición de impacto para ir determinando las posiciones más relevantes en la fase de preimpacto. Este método fue enunciado, por primera vez, en una obra anterior (Campón Domínguez, et al., 2009, p. 571) con el objetivo de conseguir mejores cotas de calidad en la investigación policial de los siniestros viales.

El almacenamiento de grandes cantidades de datos sobre la velocidad, la frenada, la dirección, el sistema de cambios, los movimientos del ojo, las respuestas fisiológicas, la biomecánica y su posterior análisis conducirá inevitablemente a una mejor comprensión de los factores que incrementan los riesgos y permitirá mejorar el diseño tanto de la vía como del vehículo (Mackay, 2013, p. 7). El problema real de las sociedades occidentales consiste en determinar cómo puede llegarse a obtener y almacenar esa información de una forma que simultáneamente permita hacerlo universalmente en todos los siniestros viales con víctimas y con un coste asumible.

Existen una serie de proyectos de investigación de carácter nacional e internacional que han abordado la investigación en profundidad de atropellos a peatones e, incluso, algunos de ellos han diseñado bases de datos para almacenar y analizar la información recogida. Entre los nacionales se pueden citar el proyecto ABIDA llevado a cabo en Madrid (Aparicio Izquierdo, 2005, p. 3; Aparicio, et al., 2005, p. 10), el proyecto BIA que discurrió en Barcelona (Liesa Mestres & Gallegos Díez, 2008, p. 2) y el proyecto PEATÓN que tuvo como escenario el ámbito urbano de Madrid, Barcelona y Zaragoza (Barrios, et al., 2009; Olona, 2008, p. 50). Entre los internacionales se puede citar el proyecto SARAC II que trató de encontrar criterios de calidad para la evaluación de seguridad de vehículos, incluido su comportamiento en los atropellos a peatones, a partir del análisis de casos reales (Delaney, et al., 2006, p. 1), el proyecto TRACE que ahondó en las causas de los siniestros viales en Europa incluidos los atropellos a peatones (Molinero, et al., 2009, p. 33), el proyecto PENDANT en lo referente a la metodología de la reconstrucción de atropellos a peatones (Tomasch, 2004, p. 106) y, finalmente, el proyecto APROSYS cuyo objetivo era desarrollar en Europa una base de datos en profundidad sobre atropellos a peatones y sobre colisiones con ciclistas (Neal-Sturgess, et al., 2007, p. 1).

En casi todos los proyectos anteriores se han creado equipos multidisciplinares que actuaban en un espacio acotado y, generalmente, durante un periodo de tiempo limitado. En cambio en esta tesis se apuesta por conseguir un enfoque multidisciplinar de la investigación básica para aportar la mayor cantidad de información posible desde el inicio del proceso, sin descartar ni contribuciones ni colaboraciones posteriores por parte de profesionales o expertos de diferentes profesiones o ciencias.

Como aportación original de la tesis, aunque ha sido fruto del trabajo conjunto en el Departamento, se ha formulado una nueva clasificación tipológica de los accidentes de tráfico que pretende ser más completa, al abarcar todos los casos y configuraciones posibles de este tipo de fenómenos, y, simultáneamente, más sencilla de aplicar en la práctica. Para lograr esta clasificación es necesario seguir una metodología investigadora en profundidad porque en otro caso no se consigue determinar completamente su definición.

Desde una visión científica criminalística, la distinción en los niveles tradicionales de investigación de siniestros viales no tienen mucho sentido, porque el procesamiento criminalístico de la escena, las técnicas investigadoras para conseguir datos complementarios y los procedimientos de reconstrucción permiten maximizar la eficacia en la recolección de datos manteniendo los costes dentro de unos límites realistas y asumibles por los Estados europeos. Esta visión europea de la policía que aplica criterios científicos en sus investigaciones, uno de cuyos ejemplos está constituido por el Departamento de Investigación y Reconstrucción de Accidentes de Tráfico (DIRAT) de la Agrupación de Tráfico de la Guardia Civil, se puede encontrar tanto en la Escuela Europea de Policía (CEPOL) que publica un Boletín Europeo de Ciencia e Investigación Policial (*European Police Science and Research Bulletin*) en un formato electrónico (CEPOL, 2015), como en la citada Red Europea de Institutos de Ciencias Forenses (*European Network of Forensic Science Institutes*) uno de cuyos grupos está específicamente dedicado a las instituciones que se dedican a la investigación y reconstrucción científica de los siniestros viales (ENFSI, 2014).

Este trabajo tiene otra orientación innovadora porque pretende que los resultados finales de la tesis sean aplicables, directa o indirectamente, en la tarea investigadora a pie de carretera, específicamente en las Unidades de Investigación de la Guardia Civil, pero que simultáneamente se utilice una metodología realista que permita mantener estándares de calidad en la información recogida que permitan un posterior análisis con los más variados y diferentes propósitos, tanto para permitir mejoras en el diseño de la estrategia de seguridad vial como para lograr avanzar en diferentes campos de la ingeniería y la ciencia.

### **III. OBJETIVOS DE LA TESIS**

Los objetivos de esta tesis se formulan, de una forma concreta y precisa, con la finalidad de planificar el conjunto de la actividad investigadora, para orientar los procesos que se llevarán a cabo en el curso de esa actividad y finalmente para que se puedan medir y valorar los resultados obtenidos por la propia tesis.



## **1. OBJETIVO GENERAL**

La meta final de esta tesis doctoral consiste en desarrollar los conceptos, técnicas y metodologías que permitan definir, ilustrar, analizar y mejorar el diseño de una base de datos sobre investigaciones en profundidad de atropellos a peatones, como tipología de siniestro vial considerada especialmente problemática cuando es considerada desde esa perspectiva heurística.

## **2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

Para conseguir alcanzar esa meta deben definirse una serie de objetivos específicos en cada una de las materias que conforman el esqueleto de este trabajo.

Estos objetivos pueden ordenarse de acuerdo con la siguiente secuencia:

- Analizar sistemáticamente el fenómeno del siniestro vial. Definir un marco conceptual válido para desarrollar, a partir del análisis del estado del arte, un nuevo modelo integrado del siniestro vial. El modelo secuencial de siniestros debería tener una estructura adaptable y estar basado en conceptos flexibles para poder ser aplicado a todo tipo de siniestros viales, pero debe estar formulado con la suficiente profundidad para que al utilizarlo aporte resultados que permitan conocer mejor cada siniestro concreto y el fenómeno de la siniestralidad vial en su conjunto.
- Determinar una metodología de la investigación de siniestros viales permita obtener un conjunto de datos, evidencias y fuentes de prueba para conseguir reconstruir el mayor número de eventos posible, de acuerdo con el modelo definido, y permitan realizar un análisis de las causas que estuvieron presentes en su génesis. Se hará una revisión del estado del arte, por un lado, de las metodologías desarrolladas en proyectos europeos y, por otro lado, de la aplicación de la criminalística a la investigación de los siniestros viales. Se pretende formular un protocolo de investigación, que sea útil a cualquier institución con competencias en esta materia, y que ese método articulado e integral de recogida de la información aplicable a nuestro país. Esta metodología a pesar de pretender ser sistemática, exhaustiva y universal, lo que técnicamente se denomina investigación en profundidad, debería ser realista y económicamente sostenible.
- Aplicar tanto el modelo como la metodología a la investigación de una concreta tipología de siniestros viales. Esta tipología será el atropello a peatones. En primer lugar se debe comprobar si desde un punto de vista estrictamente teórico el modelo definido de siniestro vial puede aplicarse al atropello a peatones. A continuación se buscará identificar los problemas críticos en la recogida de información sobre el atropello.
- Hacer posible que en un desarrollo posterior el conocimiento de los escenarios más probables para una determinada tipología de siniestros sea sistemático, pudiéndose de esta forma establecer sus eventos críticos en orden de frecuencia para poder determinar sus causas. Los resultados de esas investigaciones deberían servir para construir las políticas preventivas de los siniestros viales y sus correlativas estrategias de acción.

## **IV. METODOLOGÍA DE LA TESIS**

Con la determinación del objeto de esta tesis y los límites de la investigación, se pretende establecer el marco concreto en el que definir y aplicar una metodología que permita alcanzar de una forma lógica y científica los objetivos antes expuestos a través de la aplicación de instrumentos de investigación.

La metodología seguida en esta tesis es más amplia que la metodología de la investigación de siniestros viales, ya que esta segunda es una parte de aquella.

### **1. OBJETO DE LA INVESTIGACIÓN**

Esta investigación estará focalizada en la investigación en profundidad de los atropellos a peatones. Para llegar a un diseño verdaderamente científico de una base de datos sobre ese tipo de investigaciones, debe partirse de un modelo de siniestro vial que pueda servir de estructura a los procesos de investigación de estos fenómenos, caso a caso, con una metodología científica adecuada, realista y económicamente sostenible.

El objeto de la investigación, arriba definido, debe ser ahora sometido a análisis para trazar lo más certeramente posible sus límites. El método de delimitación será esencialmente de carácter negativo, estableciendo lo que no constituirá la esencia de esta tesis. A continuación se exponen las siguientes restricciones:

- No se analizarán casos reales de colisiones entre vehículos.
- No se estudiara el programa informático de reconstrucción utilizado, ni se compararán sus resultados con otros programas.
- No se expondrán los medios técnicos necesarios para realizar el procesamiento de la escena del siniestro vial y del proceso posterior de la investigación.
- No se determina el lenguaje de la base de datos, ni sus aspectos técnicos informáticos, así como tampoco los relacionados con la telemática.

De lo expuesto hasta aquí se ha dibujado el campo donde se va a desenvolver la investigación de esta tesis, con los límites descritos que permiten centrar más certeramente los objetivos arriba mostrados. A continuación, se expondrá cómo se pretende realizar ese trabajo de investigación y cuál será el camino para alcanzar esos objetivos.

### **2. METODOLOGIA DE ESTA TESIS**

Como es obvio para la elaboración de esta tesis se seguirá el método científico, pero al ser su objeto de carácter multidisciplinar se utilizará una versión ecléctica del mismo.

La metodología científica utilizada está basada en un modelo inductivo-deductivo, que parte del planteamiento del problema, para después construir un modelo teórico a raíz de lo cual se planten una serie de hipótesis, que serán probadas o reprobadas en base a



datos empíricos y de los cuales se podrán deducir una serie de consecuencias particulares que deben servir para refinar el modelo teórico planteado y dirigir las líneas de investigación posteriores (Bunge, 2003, pp. 62-64).

El modelo de análisis utilizado en la tesis es el método hipotético-deductivo, el cual, a partir de la formulación de una o varias hipótesis, que permiten poner en práctica los conceptos que sirven de base teórica, consiguen confirmarlas o refutarlas con una serie de instrumentos de trabajo que constituyen indicadores más o menos directos (Quivy & Van Campenhoudt, 2005, p. 26). En este caso, las hipótesis se formularán de acuerdo con una serie de preguntas directamente ligadas a los objetivos anteriormente definidos y se utilizará el método de estudio de casos en profundidad como instrumento preferente para contrastar la base de datos diseñadas con la realidad de la investigación de siniestros viales en España.

En este caso, el problema planteado es cómo construir una base de datos sobre investigaciones en profundidad sobre siniestros viales, concebida para ser aplicada también a los atropellos a peatones.

Para el desarrollo de la presente investigación en el marco de una tesis doctoral se parte de la siguiente cuestión, que puede calificarse como clave: ¿Cómo debe determinarse el diseño y la estructura de una base de datos sobre investigaciones en profundidad de casos reales de atropellos a peatones? Como hipótesis de trabajo se plantea que el diseño de esa base de datos en profundidad debe hacerse siguiendo una metodología científica. Concretamente que la estructura y los datos de la base deben estar basados en un modelo concreto del siniestro vial, a partir del cual se desarrolle una metodología de investigación adecuada y sostenible de estos fenómenos que asegure que con los datos almacenados se pueda responder cómo sucedieron los hechos y cuáles fueron sus causas.

Para poder alcanzar los objetivos específicos enunciados, se utilizarán una serie de Cuestiones Derivadas (CD) que servirán para validar o refutar hipótesis derivadas o complementarias y para guiar la investigación sobre la cuestión central de esta tesis.

La primera de estas cuestiones derivadas queda formulada así: ¿Puede el modelo de secuencial de eventos del siniestro vial ser una representación clara, precisa y fiable de la realidad y, simultáneamente, una guía de orientación sencilla, práctica y útil para la investigación de casos reales?

La hipótesis afirmativa, no excluyente de otros posibles modelos, pasa por comprobar que con este modelo puede describirse cualquier siniestro vial sobre el que se disponga de un nivel adecuado de evidencias y datos de calidad, y como corolario necesario se deduce que la metodología de investigación que se utilice debe estar en consonancia con esas demandas de información.

Por este motivo, la construcción del modelo teórico del siniestro vial comenzará con un análisis del estado del arte para llegar a formular de forma inductiva un modelo actualizado y aplicable en la práctica como guía de las investigaciones realizadas en las vías públicas para conocer en mayor profundidad la estructura teórica y las bases de este tipo de fenómenos.

La segunda cuestión derivada de la principal queda enunciada en los siguientes términos, ¿La metodología de la investigación de siniestros viales basada en MOSES permite recabar una información de calidad, tanto cuantitativa como cualitativa, sobre casos reales que permita catalogarlas como una investigación en profundidad?

La hipótesis sostenida mantiene que con esta metodología se consiguen recoger la información necesaria, en cantidad y calidad, para que la investigación pueda calificarse como en profundidad.

El método de investigación de siniestros viales que sea utilizado por cualquier investigador, con independencia de su adscripción profesional, debería estar basado en el método científico (Noon, 2009, p. 4). Por este motivo se han utilizado y aplicado en la metodología los principios de la criminalística en el procesamiento de la escena del siniestro, pero con un método específico adaptado a la escena de un siniestro vial que es completamente diferente a cualquier otra. Con todo hay que tener en cuenta que la naturaleza de este método es retrospectiva ya que pretende comprender, mediante la identificación y reconstrucción de eventos probados a través de evidencias e indicios, cómo y porqué ocurrió un determinado siniestro vial.

La tercera pregunta que se realiza para completar esta tesis ¿Pueden aplicarse el modelo definido y la metodología especificada a una tipología, especialmente complicada desde el punto de vista heurístico, como el atropello a peatones?

En muchos campos de la ciencia, específicamente en los sistemas cognitivos, se ha aplicado una metodología de investigación basada en tres elementos: modelo, esquema de clasificación y método (Hollnagel & Woods, 2005, p. 49). La clasificación tipológica de los siniestros viales es el tercer elemento que falta en el desarrollo de esta tesis, pero como no es posible abarcar todas y cada una de las tipologías posibles, como así ha quedado reflejado en las limitaciones impuestas al objeto de este trabajo, se ha optado por aplicar la metodología a una de ellas, el atropello a peatones.

Si la información derivada de una investigación llevada a cabo con el modelo y la metodología propuesta puede estructurarse, registrarse y almacenarse en una base de datos quedaría confirmada la hipótesis principal, para lo cual se utilizarán los instrumentos expuestos en el epígrafe siguiente.

### **3. INSTRUMENTOS UTILIZADOS EN LA INVESTIGACIÓN**

Los instrumentos que, a priori, servirán para desarrollar esta tesis de acuerdo con la metodología arriba descrita son los siguientes:

- Modelos del siniestro vial desarrollados a partir de teorías generales por métodos deductivos.
- Estudio de casos reales de atropellos a peatones, para hacer en primera instancia un análisis cualitativo de la información aportada por la investigación que permita hacer una primera valoración de la hipótesis planteada.

- Análisis estadístico cuantitativo de los datos de los casos reales investigados que hayan sido introducidos en la base de datos.

Todos ellos permitirán construir los modelos y metodologías que servirán de guía para determinar el diseño y la estructura de la base de datos y a partir del estudio de casos conseguir responder científicamente a la pregunta principal formulada.

### **3.1 Modelos teóricos desarrollados por el método inductivo**

Un sistema puede definirse como un conjunto de elementos o cosas que ordenadamente relacionadas entre sí contribuyen a determinado objeto (Barceló, 1996, p. 18), y si se aplica al fenómeno del tráfico y la circulación de vehículos aparece como evidente que puede hablarse sin dificultad de la existencia de un sistema vial compuesto por un subsistema humano, un subsistema tecnológico, un subsistema de infraestructuras y un subsistema normativo.

La Teoría General de Sistemas (TGS) es la historia de una filosofía y un método para analizar y estudiar la realidad y desarrollar modelos, a partir de los cuales se puede realizar una aproximación paulatina a la percepción de una parte de esa realidad, configurando un modelo de la misma no aislado del resto al que llamaremos sistema. La ciencia de sistemas tiene su punto de vista específico para comprender al hombre y su entorno como parte de sistemas que interactúan entre sí, y su objetivo es el estudio de esta interacción a partir de múltiples perspectivas de una forma holística (Skyttner, 2005, p. 3). Como consecuencia, se estudiará el comportamiento del sistema vial, específicamente cuando se producen siniestros viales, a través de una representación o modelo del mismo.

La Teoría del PIEV, como una parte de la Teoría de la percepción o de la información, formará también parte de ese modelo del siniestro vial junto a las teorías y modelos físico-matemáticos desarrollados por Newton en la Mecánica clásica.

Por otro lado, la teoría de la causalidad utilizada para analizar el siniestro vial es en gran medida clásica, aunque sea actualizada a través de una perspectiva sistémica.

Finalmente, en el estudio y análisis del atropello a peatones se utilizarán los modelos físico-matemáticos sobre el comportamiento de los seres humanos cuando sufren el impacto de un vehículo que circula a una determinada velocidad.

### **3.2 Estudio de casos**

El estudio de casos permite analizar el fenómeno objeto de estudio, en esta tesis el atropello a peatones como tipología específica del siniestro vial, en su contexto real, utilizando múltiples fuentes de evidencia, tanto cuantitativas como cualitativas. De acuerdo con esto, este instrumento puede definirse como una pesquisa empírica que investiga un fenómeno contemporáneo dentro de su contexto en la vida real (Yin, 2009, p. 13).

Este instrumento de investigación es utilizado para recopilar datos científicos en diferentes disciplinas, en psicología clínica para propósitos científicos y terapéuticos, como herramienta educativa para la comprensión de los procesos pedagógicos, y como estrategia para dar sentido a los resultados sociológicos y políticos, entre otros (Mills, et

al., 2010, p. 66). El estudio de casos es, también, un método habitual en la investigación en profundidad de los siniestros aéreos (Zotov, 2000, p. 10) o de los siniestros viales (Talaia & Amaro, 2012, p. 209)

Cuanto más busque la pregunta principal formulada explicar algunas circunstancias presentes, por ejemplo cómo o por qué funcionan algunos fenómenos sociales, más apropiado será aplicar el método del estudio de casos. Este método también será adecuado cuando las cuestiones planteadas requieran una descripción extensiva y en profundidad de algunos fenómenos sociales (Yin, 2009, p. 35).

Como fortalezas del método de estudio de casos se ha señalado (Yin, 2009, p. 49), por una parte, su capacidad para lidiar con una amplia variedad de evidencias, - documentos, entrevistas y observaciones-, más allá de lo que puede estar disponible en un estudio histórico convencional y, por otra parte, se mide y registra la conducta de las personas involucradas en el fenómeno estudiado.

Siendo honestos intelectualmente, hay que apuntar, también, sus principales debilidades, empezando por sus limitaciones en la confiabilidad de sus resultados y en la generalización de sus conclusiones, siguiendo por el empleo de abundante información subjetiva, la dificultad de aplicar la inferencia estadística y una elevada influencia del juicio subjetivo del investigador en la selección e interpretación de la información.

Además el estudio de casos es un método fiable para poner a prueba una determinada teoría o un modelo concreto sobre un fenómeno observable, como es el objeto del presente trabajo.

### **3.3 Análisis deductivo estadístico**

Una de las debilidades que se achacan al método de estudio de casos es la dificultad de aplicar análisis estadísticos para inferir conclusiones y generalizar sus resultados. Frente a esta postura, otros autores han planteado que este método puede abarcar tanto datos cuantitativos y cualitativos (Yin, 2009, p. 20). Esta perspectiva es la que se adoptará en esta tesis.

De los casos reales sobre atropellos a peatones que se analizarán en este trabajo se realizará un análisis estadístico con el objetivo de poder determinar un conjunto de inferencias que puedan servir de guía al estudio en profundidad de los escenarios donde habitualmente suceden este tipo de siniestros viales.

La elección de la muestra de casos reales no es representativa, ni a nivel local ni a nivel nacional, tampoco es representativa de la distribución tipológica ni del ámbito donde sucedió el hecho. Los atropellos mortales se encuentran sobrerrepresentados en la muestra, ya que la mayoría de los casos que son reconstruidos pertenecen a esta tipología. A pesar de estas limitaciones se pueden alcanzar inferencias significativas y servir como estudio exploratorio de las posibilidades de análisis que tendría el conjunto de la base de datos diseñada si realmente se implementase su uso generalizado en la realidad.

## V. ESTRUCTURA DE LA TESIS

La estructura de esta tesis está directamente vinculada a la metodología descrita arriba e, indirectamente, a la definición y desarrollo de los conceptos necesarios para llevarla a cabo.

### 1. MAPA CONCEPTUAL

Se han identificado los siguientes conceptos que son considerados necesarios para poder desarrollar la investigación y alcanzar los objetivos formulados:

- Sistema vial.
- Teoría General de Sistemas.
- Siniestro vial.
- Modelo Secuencial de Eventos de Siniestros (MOSES).
- Metodología de la investigación (MITOS).
- Atropello a peatones como tipología concreta de siniestro vial.
- Aplicación de MOSES al atropello a peatones.
- Modelos específicos a aplicar en el atropello.
- Simulación de atropellos utilizando programas informáticos.
- Base Española de Datos Avanzada de Siniestros viales (BEDAS): módulo de investigaciones en profundidad de atropellos a peatones.
- Verificación de la utilización de la base con casos reales.
- Definición de escenarios tipo de atropellos a peatones.

La interrelación entre estos conceptos puede verse de forma gráfica, de acuerdo con el siguiente mapa conceptual.

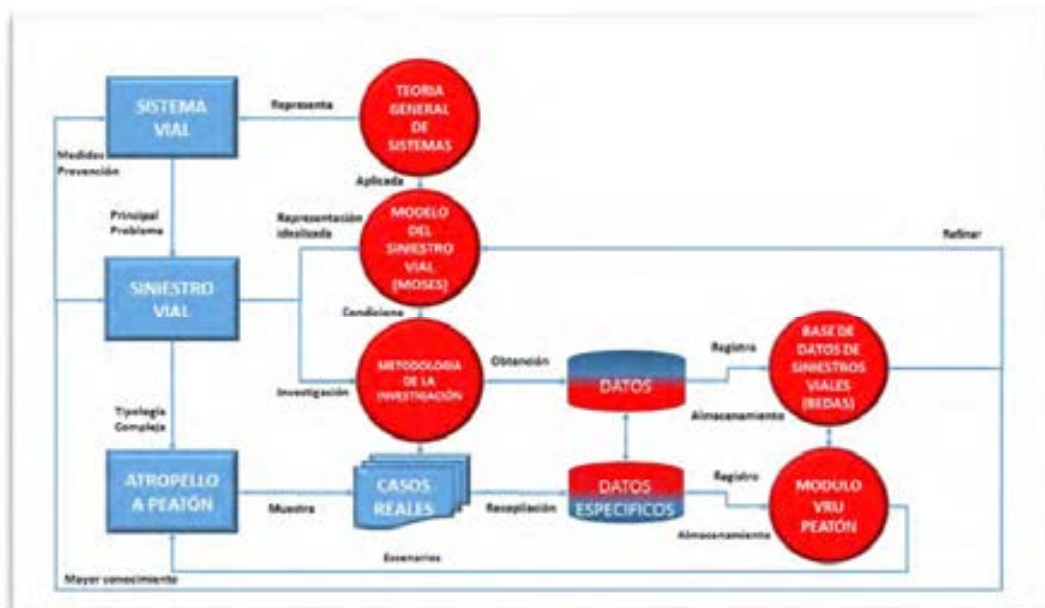


Figura 2: Mapa conceptual de esta tesis

## **2. ESTRUCTURA DE LA TESIS**

La estructura en capítulos de la tesis viene definida por las preguntas realizadas y la vía metodológica para conseguir establecer si la hipótesis establecida es confirmada o rechazada con los instrumentos que se han elegido para esa tarea.

En el primer capítulo, a modo de introducción, pretende explicar en detalle el planteamiento, el interés y grado de innovación, así como el camino metodológico que permitirá desarrollar el conjunto de la tesis.

En el segundo, bajo el título Modelo Secuencial de Eventos del Siniestro vial (MOSES), pretende formular, a partir del estado del arte, un modelo secuencial del siniestro vial que sirva de base teórica para la investigación. En este modelo se conjugan la teoría general de sistemas con las teorías psicológicas de la información, la percepción y la cognición, así como una visión secuencial de los diferentes eventos que conducen a al siniestro vial de acuerdo con una teoría de la causalidad avanzada.

La metodología de la investigación de siniestros viales es el núcleo del tercer capítulo. Para el establecimiento de esta metodología se deben tener en cuenta la información necesaria para poder determinar, de acuerdo con el modelo MOSES, cómo y por qué ocurrió un siniestro vial específico. Se ha desarrollado un intento por integrar los principios básicos de la criminalística en la investigación de siniestros viales, así como adaptar las técnicas y métodos de esa ciencia a las peculiaridades de las escenas de ese tipo de sucesos. Los datos necesarios para calificar una investigación desarrollada de acuerdo con esta metodología como en profundidad deberían poder recogerse de una forma eficiente, con una mentalidad multidisciplinar y con un coste asumible por cualquier administración estatal europea.

En el cuarto capítulo, se aplicaran tanto el modelo como la metodología de la investigación de siniestros viales a unas de sus tipologías específicas más complejas, el atropello a peatones, para verificar si es posible utilizar y adaptar el sistema general enunciado a esta categoría concreta.

El quinto capítulo está dedicado a diseñar y establecer un sistema de almacenamiento de la información recogida sobre los siniestros viales en una base de datos en profundidad (BEDAS), de la cual será un módulo integrado la parte dedicada a los atropellos a peatones.

En el sexto capítulo, titulado análisis de casos reales en BEDAS, se analiza la capacidad del diseño elaborado para recoger la información disponible de casos reales investigados y reconstruidos por los Equipos de Reconstrucción de Accidentes de la Guardia Civil.

En el séptimo y último capítulo se exponen las conclusiones, recomendaciones y futuras líneas de investigación a seguir, entre las que destacan las posibilidades que tiene la base BEDAS para ser explotada siguiendo la metodología de escenarios para cada tipología concreta.

El mapa conceptual anterior servirá para mostrar la estructura y la distribución en capítulos de la tesis.

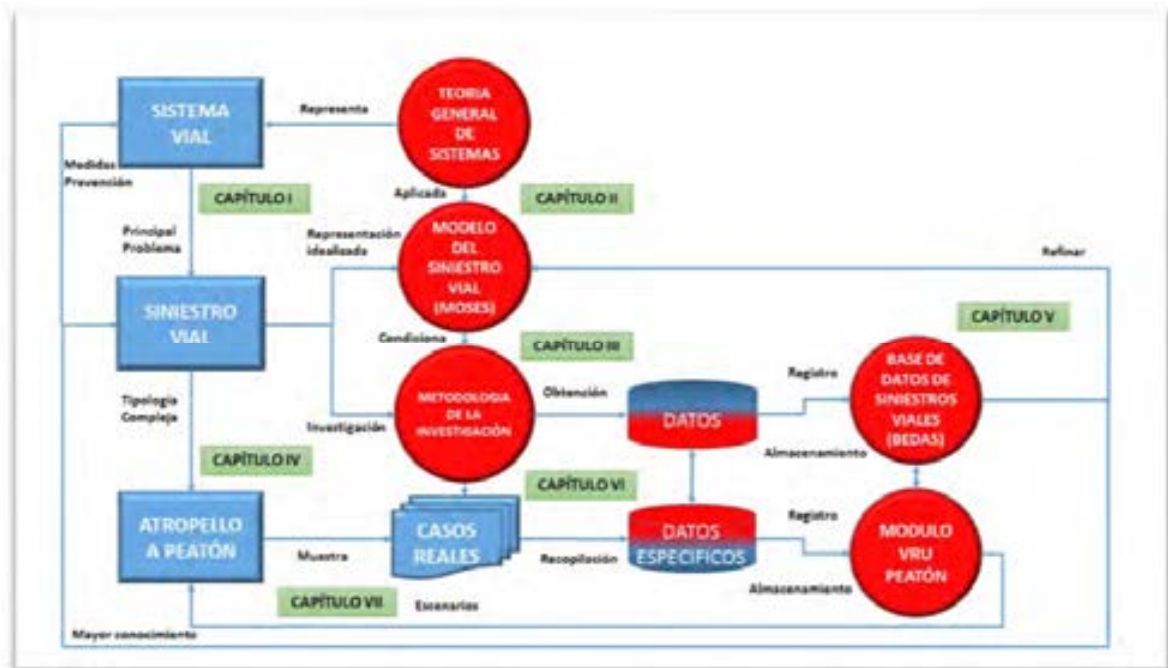


Figura 3: Desarrollo en capítulos de la tesis

# **CAPÍTULO 2**

## **EL MODELO SECUENCIAL DE EVENTOS DE UN SINIESTRO (MOSES)**

### **I. INTRODUCCIÓN**

Hay quien piensa, desde una perspectiva práctica, que los modelos y sus estructuras conceptuales no tienen una verdadera utilidad a la hora de investigar una serie de sucesos reales. En materia de seguridad vial, no falta tampoco quien aduce la indudable complejidad presente en cualquier tipo de siniestro para restar validez y eficacia a los modelos que sobre este tipo de fenómenos se han formulado y a las teorías que los sustentan.

Frente a estas posturas, estamos los que pensamos que la ciencia necesita, como requisitos básicos para desarrollarse, modelos y teorías. De hecho puede afirmarse, aunque suene a tópico, que no hay nada más práctico que una teoría adecuada. Esta aseveración puede aplicarse con plena seguridad a la investigación sobre la siniestralidad vial.

#### **1. DEFINICIÓN DE SINIESTRO VIAL**

Una de las primeras definiciones sobre el siniestro, visto en términos generales, que ofreció la literatura científica, consideró que se trataba de un evento no planeado ni controlado en el cual la acción, o reacción de un objeto, sustancia, persona o radiación, tenía como resultado una lesión o la probabilidad de lesión en las personas (Heinrich, 1931, p. 13). En un sentido análogo se le ha definido como un breve, repentino e inesperado evento o hecho que tiene como consecuencia un indeseado e indeseable resultado y que es debido, directa o indirectamente, a la actividad humana más que a un evento natural (Hollnagel, 2004, p. 5). En el ámbito de los siniestros laborales, se entiende por siniestro una serie de sucesos imprevistos que producen lesiones, muertes, pérdidas y daños en bienes y propiedades (Raouf, 1998, p. 56.6). De una forma más clara y explícita, se trataría de un suceso fortuito o eventual que altera el orden de las cosas y que involuntariamente origina daños en las personas u objetos (Borrel Vives, et al., 1991, p. 35).

Durante varias décadas, se consideró que el siniestro vial es un suceso eventual en el que como consecuencia o con ocasión del tráfico y con la intervención de, al menos, un vehículo gobernado, o no, se produce una situación anómala en el normal discurrir de la circulación que tiene como resultado la muerte o lesiones en las personas (Borrel Vives, et al., 1991, p. 36).

En Estados Unidos de Norteamérica, una norma estándar voluntaria, establece que un siniestro vial es un hecho en el que está implicado al menos un vehículo terrestre y



en el cual (1) se origina una situación inestable en una vía pública de tráfico u (2) ocurre un evento dañino en una vía pública de tráfico (American National Standards Institute, ANSI, 2007, p. 22). Como exclusión establece que los hechos ocurran en una vía privada.

En la Unión Europea, la Decisión del Consejo, de 30 de noviembre de 1993, relativa a la creación de un banco de datos comunitario sobre los accidentes de circulación en carretera (93/704/CE) en el apartado segundo de su artículo primero entiende por “accidente con daños físicos” cualquier colisión entre usuarios en la que esté implicado al menos un vehículo en movimiento, que circule por una vía pública abierta con normalidad a la circulación, y que provoque lesiones o la muerte de uno o varios usuarios.

En España, de acuerdo con la Orden INT/2223/2014, de 27 de octubre, por la que se regula la comunicación de la información al Registro Nacional de Víctimas de Accidentes de Tráfico, el siniestro vial con víctimas debe reunir las circunstancias siguientes:

- a) Producirse, o tener su origen, en una de las vías o terrenos objeto de la legislación sobre tráfico, circulación de vehículos a motor y seguridad vial.
- b) Resultar a consecuencia de los mismos una o varias personas fallecidas o heridas.
- c) Estar implicado, al menos, un vehículo en movimiento.

La definición de vehículo será la recogida en la normativa legal española vigente, y por lo tanto, son considerados siniestros viales las colisiones con tranvías, trenes y demás vehículos de raíles implicados, siempre que se produzcan en vías y terrenos públicos aptos para la circulación, en los que resulte de aplicación la normativa sobre seguridad vial.

Sin embargo, se excluyen expresamente del concepto de siniestro vial:

- a) Los accidentes provocados por muertes naturales confirmadas o en los que existan indicios de suicidio o intento de suicidio, excepto cuando produzcan daños a otras personas.
- b) Los homicidios, lesiones intencionadas a terceros y daños intencionados a propiedades.

Quedan fuera del interés estadístico, en España, los siniestros viales en los que solo se producen daños a las cosas o a los objetos, pero cuya definición sería idéntica que la expuesta arriba salvo en lo referente a los resultados derivados del hecho.

Abordar de forma sistemática la investigación de los siniestros viales, desde una perspectiva científica, requiere en esencia seguir los siguientes pasos:

- Reunir una gran cantidad de información y datos sobre cada siniestro vial y sintetizarlo en una serie de pocos principios generales que mejoren nuestro conocimiento sobre esta materia.

- Encontrar algunas condiciones, situaciones y características generales y comunes a todos los siniestros viales que nos permitan diseñar un modelo basado en una o varias teorías que puedan explicar las observaciones.
- Utilizar estas observaciones, los modelos y las teorías para proponer y validar ideas, hipótesis, y métodos para estudiar los eventos que forman parte de cada una de las secuencias en que se puede descomponer cualquier siniestro vial.
- Predecir a partir de estas observaciones, modelos y teorías que sucederá en el futuro si tiene lugar una intervención o, por el contrario, que puede ocurrir si no se hace nada.
- Encontrar soluciones a los problemas que aparecen, proponer medidas que puedan evitar que se produzca el siniestro o, al menos, que palien la gravedad de sus resultados.

Parece evidente que tanto los modelos como las teorías juegan un papel central en el desarrollo de las tareas científicas que permiten abordar la investigación de cualquier tipo de siniestro vial de una forma sistemática. De hecho, hasta que los métodos, los modelos y las teorías no pueden explicar de forma satisfactoria nuestras observaciones no puede hablarse propiamente de conocimiento científico.

## **2. EL CONCEPTO DE MODELO**

Al abordar cualquier tipo de fenómeno de acuerdo con un modelo predeterminado, definido de acuerdo con una teoría clara y precisa, se puede conseguir una perspectiva común para afrontar el problema, en la que puedan colaborar científicos e investigadores procedentes de diversas disciplinas. En el caso del siniestro vial, cuya investigación tiene una naturaleza claramente multidisciplinar, la teoría funciona como una plataforma intelectual común, en la cual el armazón conceptual y las definiciones favorecen la cooperación y comunicación interdisciplinar de los investigadores. En definitiva, la investigación sobre seguridad vial necesita un modelo y una teoría para poder estudiar, explicar y predecir los problemas a los que se enfrenta.

Finalmente, se debería tener en cuenta que sin ciencia, o sin método científico, no se puede estudiar sistemáticamente cualquier proceso en el que se esté interesado. Cuando mayor sea el campo en el que se desarrolla la materia y mayor sea el número de muestras u observaciones, se puede afirmar que más difícil será comprender lo que está sucediendo, porque está ocurriendo, lo que pasará en el futuro y que se debería hacer al respecto. Este es el caso en el que se centra el interés de esta tesis, el siniestro vial.

Un modelo de la realidad es, según la definición del término que efectúa la Real Academia de la Lengua Española, un esquema teórico, generalmente en forma matemática, de un sistema o de una realidad compleja, que se elabora para facilitar su comprensión y el estudio de su comportamiento.

Se ha definido el modelo como un modo de explicación de la realidad, -por ejemplo, el modelo mecanicista de Galileo y Newton en Física-, o como una forma de representarla, - un croquis, una maqueta, o un escenario virtual-. La noción de modelo no acaba aquí, a veces se entiende que un sistema estudiado y modelizado física o

matemáticamente puede ser un modelo que explica otro sistema análogo (Ferrater Mora, et al., 1994, p. 2432), así por ejemplo se utiliza la dinámica de fluidos para estudiar el tráfico de vehículos por los diferentes tipos de vías terrestres.

De un modelo se espera que facilite un conjunto, un marco común, en otras palabras, que haga visible un conjunto de limitaciones, dentro del cual se pueden enunciar ciertos problemas de una manera particular, y algunos de ellos pueden llegar a resolverse. Un modelo es una convención, es decir, una forma de hablar sobre algo de una manera que es comprensible y útil en una comunidad de observadores. No es una descripción de la realidad, sino una herramienta aceptada por un grupo de observadores y en una sociedad para manejar la realidad (Espejo, 1989, p. 362).

Un modelo sirve para simplificar o idealizar la realidad, mientras que una teoría es una parte del conocimiento sistemáticamente organizado para explicar un específico campo de la realidad, que puede ser aplicado en un marco más extenso de circunstancias. Las teorías se basan en un sistema de simplificación, en modelos más o menos complejos, en la aplicación de leyes y principios de análisis comúnmente aceptados.

Parece evidente que tanto los modelos como las teorías juegan un papel central en el desarrollo de las tareas científicas que permiten abordar la investigación de cualquier tipo de siniestro de una forma sistemática. De hecho, hasta que los métodos, los modelos y las teorías no pueden explicar de forma satisfactoria nuestras observaciones no puede hablarse propiamente de conocimiento científico.

En términos formales, un modelo de siniestro vial es una representación conceptual abstracta del origen y desarrollo de ese tipo de suceso (Ljung Aust, et al., 2012, p. 1).

Se puede concluir que resulta necesario que las investigaciones sobre siniestralidad vial se asienten en un modelo de siniestro vial. Afirmación que lleva, inevitablemente, a plantearse cuál debe ser el modelo a utilizar, teniendo en mente que debería ser el más adecuado para aplicarlo a todo tipo de investigaciones, tanto policiales como de otros campos de las ciencias, tanto inquisitivas como preventivas.

## **II. REVISIÓN DE LA LITERATURA SOBRE MODELOS DE SINIESTRO VIAL**

Las definiciones y descripciones del siniestro, genéricamente considerado, varían según el modelo adoptado sobre este fenómeno y según las teorías y tesis que sustenten el correspondiente modelo. Cuando se desarrolla un modelo general de siniestro lo que se está intentado es establecer un modelo aplicable a todo tipo de siniestros con independencia de su origen, sus causas, el campo donde se produzca y las personas y los bienes a los que afecte.

Es habitual que al realizar una exposición de diferentes modelos o teorías sobre una determinada materia se opte por un criterio cronológico o por un criterio tipológico. Tanto uno como otro criterio tienen sus ventajas y sus inconvenientes, pero al tener como objetivo esta exposición servir como base de las ideas y conceptos a utilizar en un

modelo a desarrollar parece más indicado utilizar como esqueleto de la exposición una clasificación tipológica ordenada cronológicamente. A pesar de lo cual hay modelos, que por su evolución o por su eclecticismo, pueden ser clasificados en dos o más tipologías.

Las clasificaciones y los criterios clasificatorios de los modelos de siniestros no son constantes, ni en el tiempo ni en su ámbito de aplicación. A finales de la década de los sesenta del siglo pasado, en referencia a los siniestros laborales, se publicó la clasificación siguiente: modelos de cadenas de eventos múltiples, modelos epidemiológicos, modelos de intercambio de energía, modelos de comportamiento y modelos de sistemas (Surry, 1969; Andersson, 1998, p. 56.19), mientras que una década más tarde en el campo de la investigación de siniestros los modelos fueron clasificados de la siguiente forma: percepción del evento individual, cadenas de eventos, variable determinante o factorial, árbol lógico y secuencia multilínea de eventos (Benner, 1978, p. 3), añadiendo los modelos epidemiológicos (Harvey, 1985, p. 12).

En el campo de los siniestros laborales, pero desde la perspectiva psicológica se estableció una amplia y completa clasificación de los modelos de siniestros: secuencias de dominó, interacción hombre-máquina, error humano, enfoque conductual, cognitivos, enfoque de personalidad y, finalmente, modelos de perspectiva sociológica (Meliá Navarro, et al., 1998, p. 290).

A comienzos del Siglo XXI, la ingeniería y la psicología han empezado a colaborar en una línea que analiza los siniestros, en general, desde la perspectiva de la ingeniería cognitiva que se centra en el análisis de las interacciones entre el hombre y las máquinas en el marco de complejos sistemas sociotecnológicos. Los autores nórdicos se mezclan con los investigadores británicos y americanos. Por este motivo se añaden dos nuevos tipos de modelos los sistémicos que analizan los errores humanos por fallos en la gestión y el control del sistema, y los modelos humanos que analizan las causas de los errores humanos a partir del estudio de las capacidades, habilidades, actitudes, personalidad y comportamiento de los seres humanos tomados como factor. Una de estas clasificaciones establece que existen modelos de siniestros de secuencia causal, de proceso, de intercambio de energía, de árbol lógico y de gestión (Kjellen, 2000, p. 32), mientras que otra más reciente los divide, simplícidamente, en modelos secuenciales, modelos epidemiológicos y modelos sistémicos (Hollnagel & Goteman, 2004, p. 156; Lundberg, et al., 2009, p. 1298).

En este trabajo, los modelos generales de siniestros se clasifican de acuerdo con las siguientes tipologías:

- Estadísticos.
- Causales basados en secuencias de eventos.
- Epidemiológicos.
- Sistémicos.
- Factor humano.

El siniestro vial puede verse como una subespecie del siniestro genéricamente considerado, a partir de lo cual los modelos aplicables a este último serían aplicables, con leves matizaciones, al segundo. En términos generales, esta afirmación es cierta, pero también deben matizarse algunas diferencias:

- Los modelos de siniestro, especialmente los sistémicos, se han desarrollado a partir del estudio de pocos casos puntuales, aunque ciertamente con una gran repercusión social y mediática, mientras que los modelos de siniestro vial se basan en muestras cuantitativamente muy significativas. Digamos que los modelos de siniestro en general se basan en un estudio de casos no significativo, mientras que los modelos de siniestro vial se desarrollan, como norma general, a partir de un elevado número de casos.
- La velocidad a la que se produce el siniestro vial es un hándicap muy importante a la hora de investigar este tipo de sucesos, mientras que otros tipos de siniestros no se producen a una velocidad elevada. Hay que tener en cuenta que una colisión entre vehículos dura 200 milisegundos, mientras que la duración total del siniestro vial se sitúa alrededor de los cuatro segundos. La elevada carga dinámica del sistema vial tiene que transmitirse de forma acusada al modelo de siniestro vial. Derivado de lo anterior, el intercambio de energía debería aparecer como decisivo en cualquier modelo de siniestro vial que quiera abordar este fenómeno desde una perspectiva holística.
- El siniestro vial se produce, generalmente, en un entorno con un alto grado de estandarización. Por lo general carreteras y calles están construidas de acuerdo con normativas técnicas muy semejantes en unos países y otros. El fenómeno de uniformidad y estandarización puede llevar a la integración del modelo de siniestro vial, por un lado, y a la posibilidad de estudios analíticos de escenarios predeterminados, por otro, mientras que en el siniestro genérico estas posibilidades son muy escasas habida cuenta de la enorme disparidad de escenarios, situaciones, circunstancias y condiciones.
- La tarea de conducir un vehículo es compleja y tiene que percibirse como incluida en un sistema vial, aún más complejo que la propia tarea. A pesar de lo cual, es una tarea que puede estudiarse aisladamente de otras, por lo que, en este campo, las modernas tecnologías de simulación, a medida que vayan ganando en acercamiento a la realidad, permitirán progresar enormemente en la comprensión de la influencia del factor humano en el modelo de siniestro vial.

Normalmente, la elección de uno u otro tipo de modelos o, simplemente seguir una línea u otra de investigación sobre los siniestros, depende de la disciplina o campo del saber al que pertenezca el investigador. Así, mientras los ingenieros, especialmente los industriales y mecánicos, se centran en los modelos estadísticos y en los basados en eventos, los psicólogos e ingenieros aeronáuticos y espaciales siguen modelos sistémicos y basados en los factores humanos, y los médicos y profesionales de las ciencias de la salud prefieren los modelos estadísticos y epidemiológicos.

En este trabajo se pretende conseguir un modelo inicial de siniestro vial, que tenga en cuenta el actual estado del arte en la materia, para aplicarlo al fenómeno real considerado.

## 1. MODELOS ESTADÍSTICOS

Desde un punto de vista naturalista se pueden distinguir dos tipos de fenómenos:

- *Fenómenos deterministas*, que son aquellos que, siempre que se producen en las mismas condiciones, dan lugar a un mismo resultado. Obedecen a leyes científicas con una dependencia funcional entre las variables que intervienen.
- *Fenómenos aleatorios*, que son aquellos que, aunque se produzcan en condiciones iguales, presentan manifestaciones diferentes que no se pueden predecir y que únicamente son conocidas después de su realización. Introducen, por tanto, el concepto de incertidumbre o desconocimiento en cuanto al resultado.

El fenómeno del siniestro vial, desde la perspectiva estadística, es un fenómeno aleatorio que, entre otros factores, puede ser relacionado con las condiciones de la vía, con las circunstancias climatológicas, con la ingesta del alcohol, con el estado del conductor o las características del vehículo. Los fenómenos aleatorios, y la incertidumbre que encierran hasta que no se concretan en un resultado determinado, son el objeto básico del análisis estadístico, que tiene como misión fundamental reducir al máximo posible dicha incertidumbre.

Una primera forma de reducir la incertidumbre ligada a un fenómeno o experimento aleatorio consiste en estudiar y relacionar cada uno de los resultados posibles del mismo. A los resultados posibles de un fenómeno aleatorio se les denomina sucesos o eventos. No es lo mismo desconocer a priori el resultado de una determinada acción, que desconocerlo pero sabiendo que dicho resultado se encontrará entre un determinado conjunto de resultados posibles.

Una nueva reducción del grado de incertidumbre que rodea a un fenómeno aleatorio se consigue cuando, además de conocer los resultados posibles, es posible asignar a cada uno de ellos un indicador de las posibilidades que tiene de ocurrir. Dicho indicador recibe el nombre de probabilidad. La probabilidad es, por tanto, una medida del grado de incertidumbre de cada suceso. Evidentemente, no es lo mismo conocer solamente cuáles pueden ser los resultados posibles de un fenómeno aleatorio que conocer también el nivel de posibilidades que tiene cada uno de ellos de ocurrir.

En función de la posibilidad o no de asignar posibilidades a los sucesos de un fenómeno aleatorio podemos distinguir entre:

- *Fenómenos estocásticos*, en los que es posible asignar a cada uno de los sucesos un nivel determinado de probabilidad. Se dice que en este caso estamos en un ambiente de riesgo.
- *Fenómenos aleatorios puros*, en los que dada su naturaleza no es posible asignar probabilidades al sistema de sucesos. Se dice que en este supuesto estamos en un ambiente de incertidumbre.

Podemos concluir que el riesgo de sufrir un siniestro en función de una serie determinada de variables o factores es un fenómeno estocástico. Por este motivo en el caso de la cuantificación de los siniestros se ha desarrollado dentro de la Estadística, como ciencia, una parte específica dedicada a su estudio que ha sido denominada Estadística Actuarial, intrínsecamente vinculada al sector asegurador. En este contexto, se entiende por siniestro la realización de un fenómeno que provoca un riesgo, o en otras palabras, a cada resultado de un experimento aleatorio.

El sistema de seguridad vial es tan complejo que no puede ser completamente determinado en un momento dado, es decir, no se puede establecer una relación unívoca entre la situación pasada y futura. No es determinista. Ello se debe a que el sistema se desarrolla mediante variables dependientes del tiempo, con unos componentes sujetos al azar o a leyes tan complejas que se escapan, al menos de momento, a la capacidad de comprensión del ser humano.

En Estadística, la variación aleatoria refleja el hecho de que, a nivel individualizado, los siniestros viales son imprevisibles en el sentido asombroso de que, si hubieran sido anticipados, no habrían ocurrido. Aunque los siniestros viales son el resultado de acciones humanas, también pueden ser, – casi sin excepción –, catalogados como acontecimientos no deseados. Por lo tanto, es lógicamente imposible preverlos a nivel individual, es decir, determinando detalladamente las personas que van a estar implicadas en alguno de ellos, así como el lugar, la fecha y la hora.

En cambio, los siniestros viales considerados como un conjunto agregado de datos, por ejemplo, los datos sobre siniestros viales ocurridos en un país durante un año, parecen obedecer a leyes estadísticas estables, ya que las cifras sobre siniestralidad muestran relativamente poca variación de un año al otro.

El mecanismo subyacente de esta estabilidad, y de la variabilidad sistemática que se puede observar, por ejemplo, entre diferentes temporadas, comarcas o grupos de conductores, conviene comprenderlo como un proceso causal, según el cual el número esperado de siniestros, o sea su frecuencia a largo plazo, es función de ciertas variables explicativas. Este valor esperado es controlable y explicable. Una vez que se conozca cómo se explica, se pueden establecer medidas para influenciar estos fenómenos, evitando así, a largo plazo, que ocurra un cierto número de siniestros viales.

Se asume que algunos factores son comunes en todos los siniestros, y que pueden ser determinados con una correcta metodología en la recogida de datos. Una consecuencia positiva de este planteamiento es que resalta la necesidad de que los investigadores realicen investigaciones exhaustivas sobre todos los eventos que han conformado el siniestro. Las hipótesis que explican el siniestro, o alguno de sus eventos, solo pueden ser formuladas con posterioridad a la recogida de los datos.

El objetivo de la investigación de siniestros es reunir un conjunto de datos que permita realizar una comparación estadística que permitirá determinar la influencia de cada una de las variables en un factor que tenga influencia en la probabilidad de producción del siniestro (Benner, 1980, p. 1). De esta forma se podría llegar a conocer las condiciones que actúan como precursores de los actores implicados en un siniestro.

Este tipo de modelos buscan, mediante la aplicación de la estadística, demostrar la correlación que existe entre los siniestros, en general, o algún tipo particular de siniestro con algún factor o condición, por ejemplo la implicación del consumo de alcohol o drogas en los siniestros. A pesar de todo, desafortunadamente las teorías y modelos estadísticos no son suficientes para describir los siniestros viales y para sugerir medidas relevantes para la seguridad vial.

En los modelos estadísticos del siniestro vial se pueden formular tres grandes familias denominadas como sigue:

- Modelos estocásticos de regresión lineal simple y multivariable.
- Modelos de regresión no lineal.
- Modelos de ecuaciones estructurales.

Además se pueden aplicar otros métodos y técnicas para analizar los datos de los siniestros viales, desde la perspectiva de la inteligencia artificial, tales como las Redes neuronales artificiales, los Métodos borrosos o los Métodos Híbridos (Garber & Wu, 2001, p. 30).

A continuación se exponen brevemente estas familias de modelos.

### **1.1 Modelos estocásticos de regresión lineal**

El modelo estocástico más frecuentemente utilizado en la investigación de siniestros viales es la regresión, porque los datos que describen las variables independientes están fácilmente disponibles y, además, son bastante precisos.

En 1990, a comienzos del proyecto DRIVE, se acometió la tarea de identificar los peligros y riesgos para la seguridad vial en Europa. En un primer momento se utilizaron técnicas estadísticas aplicadas a los datos disponibles sobre siniestros viales para identificar los factores y las combinaciones de factores que están significativamente relacionados con la siniestralidad. Las variables que se utilizaron fueron el límite de velocidad, la clase de carretera, las condiciones de la superficie de la carretera y las condiciones lumínicas. Esta información se ha combinado, después, con los datos procedentes de las investigaciones en profundidad para producir una simulación informática o un modelo de interacciones de las variables de riesgo (Hydén, 1990, p. 24).

Casi veinte años después, en el proyecto SafetyNet se llevó a cabo un estudio de los diferentes modelos estadísticos aplicables a los datos agregados de siniestros viales en Europa. El primer modelo analizado es la regresión lineal (Dupont, et al., 2007, p. 7), que no es más que calcular los parámetros que permiten que la ecuación de una recta ( $y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2$ ), se ajuste lo mejor posible a los datos reales. Estos modelos tienen tres importantes limitaciones: en primer lugar, la variable dependiente ( $y$ ) tiene que seguir una distribución normal; en segundo lugar, esa variable dependiente debería poder expresarse como una combinación lineal de las dependientes ( $b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 \dots$ ) y, finalmente, los errores son independientemente distribuidos a todas las observaciones.



Las dos primeras limitaciones pueden superarse en el Modelo Lineal Generalizado, pero la tercera es la que lleva a pensar en otras opciones estadísticas más complejas.

## 1.2 Modelos de regresión no regresión lineal

El modelo de regresión de Poisson es un caso particular del Modelo Lineal Generalizado, que tiene una distribución de Poisson para el componente aleatorio y cuenta con función de enlace logarítmica (Tomás, et al., 2005).

En 1898, Von Bortkiewicz aplicó esta distribución al número de siniestros, con resultado de muerte, debidos a coces de caballos en diez regimientos de caballería del ejército prusiano. Este autor determinó que, dado que la probabilidad de morir por una coz es muy baja, pero el número de soldados es alto, la distribución de muertes debía seguir la ley de Poisson. Los datos estadísticos observados en un periodo de veinte años confirmaron este planteamiento (Von Bortkiewicz, 1898, pp. 17-20).

El modelo de tendencia al siniestro, formulado en Gran Bretaña a comienzos del Siglo XX, y su posterior corolario según el cual, podría determinarse, a priori, las personas intrínsecamente propensas a sufrirlos tuvo una inmediata aplicación en el campo de la seguridad vial. La exigencia de reconocimientos médicos y psicológicos para la obtención del permiso de conducción de vehículos de motor estaba vinculada a la búsqueda de las características o defectos de los seres humanos directamente ligados a esta propensión para sufrir siniestros viales. El razonamiento era simple, si se elimina de la población conductor a aquellas personas con propensión al siniestro vial se acabará en gran medida con la siniestralidad.

La expresión “propenso al siniestro” (*accident prone*) se utilizó originariamente para adjetivar a las personas cuya frecuente anotación en el registro de datos sobre siniestralidad era debido a factores humanos personales (Farmer & Chambers, 1926; Burnham, 2009, p. 8). De acuerdo con la Teoría de la Propensión al Siniestro (*accident proneness*) existe un subconjunto de personas, en cada grupo general, cuyos componentes corren un mayor riesgo de padecerlo.

En el periodo entreguerras las investigaciones para lograr medir la propensión individual al siniestro partían de la idea de considerarla una cualidad personal de cada ser humano. Esta propensión era considerada como la consecuencia en el comportamiento de una serie de características y cualidades personales, entre ellas la habilidad cinética (Farmer & Chambers, 1926; Froggatt & Smiley, 1964, p. 7) o la capacidad perceptiva o motora (Cresswell & Froggatt, 1962, p. 161). Por este motivo, ya desde los primeros trabajos estadísticos sobre siniestralidad se apuntó hacia una visión factorial del fenómeno (Newbold, 1926; Benner, 1978, p. 2).

Todavía en la década de los años cincuenta del pasado siglo, la Asociación Médica Británica (1954), la Organización Mundial de la Salud (1956) y la Asociación Médica Norteamericana (1959), publicaron sus recomendaciones para la selección del “conductor seguro”. Posteriormente, se ha criticado, con razón, que algunos de los criterios utilizados por estas Instituciones no tenían, ni tienen soporte científico y parecían haber sido elegidos por capricho.

A partir del último tercio del siglo XX, se han ido añadiendo nuevas características y condiciones al concepto de tendencia al siniestro, que lo han ido configurando de una forma más flexible y versátil (Frogatt & Smiley, 1964, p. 8):

- La tendencia personal al siniestro, tal y como se muestra en las bases de datos de siniestralidad, cambia a lo largo del tiempo.
- La tendencia al siniestro permanente solo afecta a una proporción muy pequeña de aquellas personas que obtienen resultados adversos en los registros de siniestralidad en cualquier periodo de observación.
- La tendencia al siniestro no es una entidad estable, sino que varía para cada persona a lo largo del tiempo.

Como puede deducirse, la tendencia natural de los seres humanos al siniestro es una idea recurrente a lo largo del tiempo, que no es ni fácil de definir ni sencilla de demostrar, y que todavía no se ha conseguido medir a través de un método fiable y ampliamente reconocido. Por estos motivos, el modelo deja mucho que desear en cuanto a su verdadera operatividad práctica frente a la siniestralidad.

A pesar del casi total abandono del modelo de tendencia al siniestro o, al menos, de su corolario referente al “conductor inseguro” se siguen publicando trabajos o estudios que intentan encontrar esas hipotéticas características o defectos en las personas que los hacen más proclives a estar implicados en siniestros viales.

Se han aplicado, con un éxito relativo, diferentes variantes de este tipo de modelos para explicar la ocurrencia de siniestros viales en función de las variables geométricas y de configuración de la vía: Modelos de Regresión de Poisson, Modelo de Poisson de Cero Inflado (ZIP), Modelo de Regresión Binomial Negativa, Modelos de Regresión logística Simple y Modelos de Regresión logística Multivariable (Garber & Wu, 2001, pp. 19-25).

Entre los modelos de regresión, el modelo más famoso es la conocida como Ley de Smeed que se trata de una regla empírica que correlacionaba las muertes en siniestros viales en un determinado país (F) con la densidad de tráfico, medida a través de las cifras del parque de vehículos de motor registrados (V) y la población total (P) del país (Smeed, 1949, p. 14).

$$F = 0,0003 \times (V \times P^2)^{1/3}$$

No obstante posteriores intentos, en el espacio y en el tiempo, han determinado que aunque la idea pueda ser buena la formulación empleada no se ajusta bien a los datos recogidos (Adams, 1987, p. 71).

Göran Nilsson, investigador sueco de la Universidad de Lund, dedicó su tesis doctoral a desarrollar el denominado Modelo de Potencia (Power Model). El objetivo principal de este modelo es determinar el efecto que el cambio en la velocidad de circulación de los vehículos tiene en las cifras de siniestros viales y sus consecuencias en una red de carreteras o vías de comunicación terrestres durante un periodo de tiempo determinado. Los datos necesarios para aplicar este modelo son: en primer lugar, la

velocidad media inicial de los vehículos de motor en un determinado punto ( $v_0$ ); en segundo lugar, la velocidad media final de un determinado periodo de los vehículo de motor en el mismo punto ( $v_1$ ); y finalmente, el cambio de esta magnitud durante ese periodo de tiempo (Nilsson, 2004, p. 87).

Tabla 4: Variables y ecuaciones del Power Model

VARIABLE	MODELO	VARIABLE	MODELO
Siniestros mortales	$y_1 = \left(\frac{v_1}{v_0}\right)^4 y_0$	Muertes	$z_1 = \left(\frac{v_1}{v_0}\right)^4 y_0 + \left(\frac{v_1}{v_0}\right)^8 (z_0 - y_0)$
Siniestros mortales y con lesiones graves	$y_1 = \left(\frac{v_1}{v_0}\right)^3 y_0$	Muertes y lesiones graves	$z_1 = \left(\frac{v_1}{v_0}\right)^3 y_0 + \left(\frac{v_1}{v_0}\right)^6 (z_0 - y_0)$
Siniestros con victimas	$y_1 = \left(\frac{v_1}{v_0}\right)^2 y_0$	Victimas	$z_1 = \left(\frac{v_1}{v_0}\right)^2 y_0 + \left(\frac{v_1}{v_0}\right)^4 (z_0 - y_0)$

Estos modelos permiten discernir que mientras la causa de la mayoría de los siniestros viales son atribuidas por los investigadores a conductores, que se podrían denominar normales, hay otros muchos factores y condiciones en el proceso que no están directamente relacionados con el conductor.

### 1.3 Modelos de ecuaciones estructurales

Los modelos de ecuaciones estructurales son una familia de modelos estadísticos multivariantes que permiten estimar el efecto y las relaciones entre múltiples variables probar y estimar relaciones causales a partir de datos estadísticos y asunciones cualitativas sobre la causalidad. Los modelos de ecuaciones estructurales nacieron de la necesidad de dotar de mayor flexibilidad a los modelos de regresión. Son menos restrictivos que los modelos de regresión por el hecho de permitir incluir errores de medida tanto en las variables dependientes como en las variables independientes, y por lo tanto permiten analizar los efectos directos e indirectos entre los diferentes factores incluidos en el modelo (Ruiz, et al., 2010, p. 34).

Estos modelos parten de la necesidad de tratar de estimar algo que se desconoce, en función de determinados parámetros que son conocidos. Es decir, cuando se han definido las variables, tanto las endógenas como las exógenas, que explican y determinan el modelo, los parámetros estructurales que acompañan a las variables, las ecuaciones y su formulación en forma matemática, así como la perturbación aleatoria que explica la parte no sistemática del modelo. A partir del modelo econométrico especificado, en una segunda etapa se procede a la estimación de los valores numéricos a los parámetros de las ecuaciones del modelo, utilizando técnicas estadísticas, tales como los mínimos cuadrados ordinarios, la Máxima verosimilitud y los Mínimos cuadrados bietápicos. En una tercera etapa, se procede a la verificación del modelo, donde se someten los parámetros y la variable aleatoria a unos contrastes estadísticos para cuantificar en términos probabilísticos su validez. En la etapa final, se aplica el modelo conforme a sus objetivos definidos.

Dentro de los modelos estadísticos del siniestro vial, los econométricos están jugando un papel cada vez más importante. El modelo econométrico más difundido, conocido por DRAG (*Demande Routière des Accidents et de leur Gravité*), debe su formulación a Marc Gaudry, de la Universidad de Montreal. En este modelo se definen



cuarenta variables que influyen en la producción de siniestros viales y sus correlativas víctimas, clasificadas en siete categorías. Entre los parámetros de mayor influencia en la siniestralidad vial se encuentran el consumo de gasolina, las tarifas del transporte público, la obligatoriedad del casco y el cinturón de seguridad, así como la normativa sobre el alcohol y la conducción (Gaudry, 1984, p. 3).

Este modelo, formulado en principio para ser aplicado en Canadá, ha sido adaptado a otros países bajo diferentes nombres SNUS (Alemania), TRULS (Noruega), DRAG-Estocolmo (Suecia), TAG (Francia) y TRACS-CA (California, Estados Unidos de Norteamérica). En España también se ha desarrollado, dentro de la familia DRAG, un modelo propio aplicable al estudio y análisis de su siniestralidad vial (Gaudry & Lapparent, 2010, p. 46; Gaudry & Lassarre, 2000, p. 1).

El modelo DRAG-ESPAÑA, desarrollado por el INSIA entre los años 2004-2007, consta de nueve ecuaciones divididas en cuatro niveles o capas de estudio. En cuanto al marco temporal de los datos disponibles, desde enero de 1990 hasta diciembre de 2004, representa un total de 180 datos mensuales de cada una de las variables incluidas.

En el primer nivel se analiza la exposición de los vehículos en la red interurbana de carreteras, mediante la variable Vehículo-kilómetro, la cual hace referencia a los kilómetros recorridos por los vehículos del parque en el ámbito interurbano. En un segundo nivel se exponen las ecuaciones relativas a los siniestros viales, distinguiendo entre siniestros viales mortales y con heridos. El tercer nivel define las ecuaciones de severidad de las consecuencias del siniestro vial, representadas por las variables de morbilidad y mortalidad. El cuarto nivel lo constituyen los modelos matemáticos de víctimas heridas y mortales (Aparicio, et al., 2008, p. 6).

*Tabla 5: Estructura y niveles del modelo DRAG-España*

<b>PRIMER NIVEL</b>	
EXPOSICIÓN	Veh-Km interurbano
<b>SEGUNDO NIVEL</b>	
SINIESTROS VIALES	Siniestros viales con heridos
	Siniestros viales mortales
<b>TERCER NIVEL</b>	
SEVERIDAD	Morbilidad
	Mortalidad
<b>CUARTO NIVEL</b>	
VÍCTIMAS	Víctimas heridas

El modelo se encuentra dividido en otra serie de modelos en cada nivel definido:

- Modelo de exposición. De las diecisiete variables incluidas en el modelo de exposición, es la relativa al parque de vehículos la variable más influyente en la exposición interurbana, siendo su elasticidad mayor a la unidad. El modelo señala a las actividades relativas al trabajo y al turismo como las principales causas de movilidad en carretera. Otras conclusiones importantes son la escasa diferencia existente en exposición asociada a los

distintos tipos de días (laborables, fines de semana) y la mayor influencia de condiciones climáticas favorables, como las altas temperaturas, frente a condiciones adversas como la niebla, la nieve o la lluvia. Este modelo presenta un alto grado de ajuste, lo que implica que las variables incluidas en el mismo, explican prácticamente en su totalidad la exposición interurbana.

- Modelos de siniestros viales. Se han identificado diecinueve variables que contribuyen a explicar las variaciones mensuales del número de accidentes con heridos y accidentes mortales. La variable de exposición interurbana destaca como la variable de mayor influencia en el incremento de accidentes, siendo la elasticidad estimada inferior a la unidad. Además, los modelos ponen de manifiesto el efecto positivo que el incremento de la vigilancia, la mejora de las características tecnológicas de los vehículos y la red de alta capacidad tienen sobre los accidentes, a la vez que detectan la influencia negativa de la inexperiencia de los conductores, la velocidad y la antigüedad del parque.
- Modelos de severidad. La complejidad asociada a la realización de los modelos de severidad, principalmente por la ausencia de variables directamente relacionadas con la severidad y la falta de variabilidad de las variables dependientes, ha sido solucionada con éxito, fundamentalmente en el modelo de morbilidad. El hecho de que el modelo de mortalidad tenga peor ajuste puede ser debido a la ausencia de variables tan importantes como la velocidad y el cinturón de seguridad, lo que pondría de manifiesto la mayor importancia de estas variables sobre la mayor gravedad de los accidentes y las víctimas.
- Modelos de víctimas. En estos modelos, las conclusiones obtenidas son prácticamente análogas a las obtenidas para los modelos de siniestros viales.

Como aportaciones destacadas del modelo DRAG- ESPAÑA se puede señalar que este modelo permite (Aparicio & Arenas, 2008):

- El estudio y evaluación de los efectos sobre los accidentes de gran número de variables, consideradas simultáneamente.
- Diferenciar los efectos sobre los accidentes y sobre la severidad de los mismos.
- Analizar efectos directos de cada variable, sobre severidad y víctimas y los indirectos, a través de la exposición al riesgo.
- Incorporar nuevas variables de interés y evaluar los posibles efectos de ciertas variables en escenarios futuros.

En 2009, se publicaron los resultados de otro proyecto que acometió la actualización del modelo hasta el año 2007, incorporando las novedades en materia de seguridad vial de ese último período, para la evaluación de los principales factores de influencia sobre las diferentes capas de la seguridad vial (Aparicio, 2009, p. 5).

Con el desarrollo de los modelos de la familia DRAG, se puede evaluar la distinta influencia que una misma variable, puede tener sobre cada uno de los tipos de siniestros viales determinados y sobre la severidad de las lesiones consecuencia de cada uno de ellos, lo que pondría de manifiesto la importancia de estudiar de forma diferenciada los ámbitos de la seguridad vial mediante un análisis de la gravedad asociada a los siniestros viales y a las víctimas, lo que debería hacerse a través de la investigación en profundidad de los mismos, permitiendo un mejor entendimiento del fenómeno.

#### **1.4 Aportaciones de los modelos estadísticos a MOSES**

La exposición de forma resumida, breve y estructurada de estos modelos tiene como finalidad principal establecer, a partir de sus conclusiones y consecuencias, sus posibles aportaciones al modelo MOSES propuesto:

- El siniestro vial es un fenómeno complejo en el sistema sociotecnológico vial sobre el que se puede actuar mediante el conocimiento en profundidad adquirido por medios científicos.
- La visión factorial sobre las condiciones y causas de los siniestros viales descarta la falta de sustentación científica y real de la hipótesis de la causa única en los siniestros viales individuales.
- Una potencialidad interesante de los modelos de ecuaciones estructurales es la posibilidad de representar el efecto causal entre sus variables, que pueden ser utilizadas para confirmar de forma macroestadística las inferencias logradas del modelo del siniestro vial utilizado y de la investigación en profundidad de los casos individuales.
- La utilidad de los métodos y técnicas de simulación tanto a nivel macroscópico como a nivel microscópico en la investigación de los siniestros viales.

## **2. MODELOS SECUENCIALES DE EVENTOS**

La literatura anglosajona, especialmente la norteamericana, sobre seguridad sitúan a comienzos del Siglo XX las primeras inquietudes sobre el desarrollo de algún tipo de modelo, descriptivo o explicativo, del siniestro. Es habitual situar como punto de partida de esta línea de investigación científica el trabajo llevado a cabo por Heinrich en la tercera década del siglo pasado. Todo lo más que se encuentran son leves citas a modelos anteriores, como por ejemplo a la percepción del siniestro como resultado evento singular y a la teoría de la causalidad (Benner, 1975b, p. 2).

Su idea clave era que los siniestros podían describirse como una secuencia de eventos en una relación predeterminada de antecedente y siguiente, tal y como si se tratase de una fila ordenada de fichas de dominó. Un evento inesperado o indeseable, denominado causa primaria o basal, inicia una secuencia de eventos que conducen hacia un siniestro. Cuando se ocasionan lesiones a consecuencia de este tipo de hechos se culmina de forma natural una serie de eventos o circunstancias que invariablemente ocurren en un orden fijo y lógico. Esto implica que el siniestro es el resultado de una

causa singular, y si esta causa puede ser identificada y, en su caso, eliminada este tipo de sucesos no se repetirá (Heinrich, 1931; Raouf, 1998, p. 56.6).

Este proceso puede comprenderse mejor recurriendo a la imagen de una fila de fichas de dominó, entre las que existe la separación adecuada, y en la cual la caída de la primera ficha arrastra a la siguiente y, así, hasta el final. Por este motivo la explicación del siniestro vial como una secuencia de eventos se conoce como fenómeno dominó, de acuerdo con lo representado en la siguiente figura.



*Figura 4: Teoría del dominó descriptiva del siniestro*

Esta nueva perspectiva supuso una traslación, al menos en la ingeniería y las ciencias relacionadas con la seguridad, del foco de la investigación de siniestros desde la visión tradicional de la determinación de la causalidad hacia la comprensión del fenómeno a través de la descripción de la cadena de eventos (Benner, 1975b, p. 2), o en otras palabras, es posible llegar a una explicación de sus causas a partir del estudio y análisis de dichos eventos.

Los modelos secuenciales basados en eventos consideran el siniestro como el resultado de una cadena de eventos en la que algo ha funcionado mal y no ha llegado a buen término (Jørgensen, 1998, p. 56.3). Una posible explicación del siniestro vial sería que en una cadena de eventos, en la que cada uno de ellos es planeado o controlado, sucede un evento no planeado e inesperado que, es seguido de algunas acciones no adecuadas que pueden tener, o no, como resultado individual la producción de lesiones (Arbous & Kerrich, 1951, p. 341; Frogatt & Smiley, 1964, p. 4).

Todos los modelos secuenciales parten de una misma premisa: el siniestro vial, a pesar de su rapidez, no se produce de manera instantánea, sino que sufre una evolución secuencial que se desarrolla en el tiempo y en el espacio mediante una serie de eventos que se van desarrollando ordenadamente hasta llegar a producir un resultado final lesivo para las personas o dañino para sus bienes. Este tipo de modelos permite tener en cuenta la importancia de la evolución espacio-temporal y las interacciones entre los implicados en el devenir del siniestro.

## **2.1 Instituto de Tráfico de la Northwestern University**

El modelo más extendido de esta tipología se debe a Standard Baker, quien a mitad del siglo XX expuso un modelo en el que el siniestro vial era el resultado final de una cadena de eventos que tenía lugar cronológicamente. De hecho, la evolución del siniestro de forma secuencial se trata de una modificación y adaptación de la teoría del dominó a la que se ha hecho referencia arriba. A partir de este trabajo fundamental, en Europa se fueron desarrollando diferentes adaptaciones del modelo que fueron introduciendo en él añadidos y variantes que lo han enriquecido.

En los diversos manuales de los cuales Standard Baker es autor, no se define lo que se entiende por evento, pero si se establece que los eventos suceden secuencialmente. Para Baker un evento produce otro evento en determinadas condiciones o concurriendo algunos precisos factores, de tal forma que uno conduce al siguiente hasta que se llega al resultado final. Cada evento en una secuencia depende de ciertas condiciones y cada condición depende de ciertos eventos previos (Fricke & Baker, 1990, pp. 52-4). Por este motivo la explicación del siniestro vial como una secuencia de eventos se conoce como fenómeno dominó

De la lectura del párrafo anterior puede deducirse que Baker, sin hacerlo explícitamente, está asumiendo un modelo de siniestro vial basado en una secuencia de eventos causados por la conjunción de otros eventos precedentes y ciertas condiciones. La reconstrucción de siniestros viales, una de las actividades de la investigación de este tipo específico de siniestros, se centra en la identificación de la cadena lineal de eventos (Benner, 1975b, p. 2). Por este motivo puede decirse que su modelo, implícitamente y parcialmente formulado, pertenece a la categoría de los que analizan la causalidad a través de la ordenación secuencial de eventos. De hecho, Baker afirmó que cuando se investiga un siniestro vial hay que tener en cuenta las distintas fases individuales que lo integran, por consiguiente, deberá considerarse que es el resultado de una cadena de eventos (Baker & Fricke, 1986, pp. 10-5).

El siniestro vial se investiga teniendo en cuenta las distintas fases individuales que lo integran y considerándolo como una cadena de eventos. Por este motivo, en este modelo se conjugan los factores operacionales secuenciales junto a los factores condicionantes simultáneos.

En cuanto a los factores operacionales secuenciales se distinguen las siguientes

- Preparación del viaje. Para llevar a cabo un viaje en vehículo sin que se produzca un siniestro vial, el sistema vial debe ejecutar con éxito un conjunto de operaciones tras otro para mantener el vehículo, o en su caso al propio peatón, moviéndose a lo largo de la trayectoria disponible hacia el destino final elegido. En este sentido un siniestro vial es consecuencia de una serie de fallos en las operaciones necesarias para realizar un viaje, por lo tanto los descuidos y olvidos en la preparación de un viaje afectan a la seguridad del mismo.
- Estrategias en la conducción, que puede ser definida como cualquier acción, mientras un conductor o un peatón realiza un viaje, que incrementa la probabilidad de una táctica evasiva exitosa por parte de la unidad de tráfico, si resultase necesario. Relacionado con esta estrategia se encuentra el concepto de margen de seguridad, que se trata de la comparación mental que



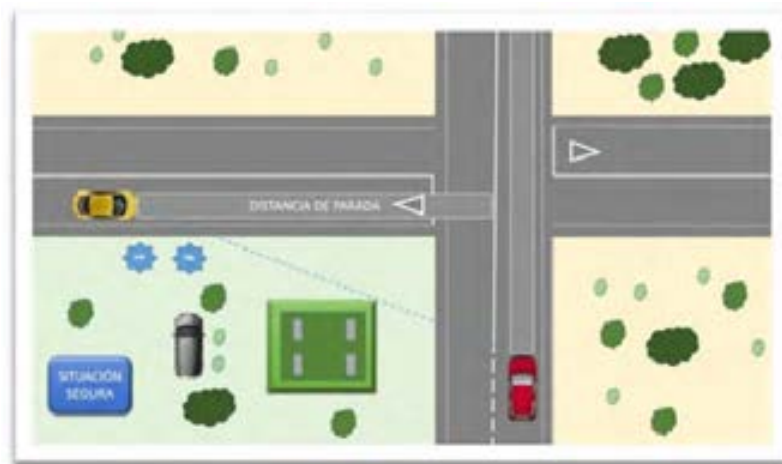
realiza el conductor de sus posibilidades de realizar una maniobra evasiva frente a un peligro o situación anómala que pudiera presentársele en cualquier momento en la vía, ya sea otro vehículo en una intersección, un peatón o, incluso un animal.

- Tácticas o maniobras evasivas. Cuando la persona que conduce una unidad de tráfico se enfrenta a una situación dinámica de peligro, necesita adopción de algunas acciones evasivas para evitar el peligro o aminorar sus efectos. Esta acción requiere una secuencia de tres acciones: primero, percepción de la situación como peligro, segundo, decisión sobre cómo impedir que el peligro llegue a convertirse en realidad y, tercero, la ejecución de la decisión sobre las acciones que evitarían el peligro.

Una situación crucial es aquella en que se encuentra una unidad de tráfico cuando trata de evitar un peligro, mientras que un evento clave es todo suceso que se produce en la carretera, que define cómo ocurrió un accidente de tráfico a un vehículo de motor.

Para Baker las tácticas evasivas implica una secuencia de tres actos: percepción de la situación de peligro, decisión relativa a como evadirle y ejecución de la maniobra evasiva elegida para evitarlo. El momento y lugar en que se producen los eventos en un siniestro son muy importantes para la investigación. Generalmente, se habla del lugar y tiempo como de puntos del suceso. A pesar de lo anterior, debería ser más adecuado denominarlas como posición.

A continuación se exponen las posiciones que en este modelo se ofrecen sobre los eslabones fundamentales de la cadena de eventos: Punto de Percepción Posible (PPP), Punto de Percepción Real (PPR), Punto de No Escape (PNE), Punto de Impacto (POI) y la Posición Final (PF).



*Figura 5: Representación de las posiciones de interés en este modelo*

Aplicando los conceptos anteriores y viendo las diferentes posibilidades que pueden darse las siguientes situaciones en una intersección en cruz de dos vías diferentes (Fricke & Baker, 1990, pp. 52-9):

- Estrategia insegura de conducción. Esta situación viene determinada porque el PNE se encuentra por detrás del PPP por lo cual la colisión se convierte

en inevitable, incluso aunque el conductor del vehículo amarillo intente una frenada de emergencia como maniobra de evitabilidad ya que la distancia de parada es superior a la distancia disponible.

- Situación insegura retraso en la percepción. En este caso el PNE está por delante del PNE, pero el conductor del vehículo amarillo no percibe realmente la situación de riesgo hasta que ha pasado un tiempo y la distancia de parada es superior a la distancia disponible. Ese retraso en la percepción determina que el siniestro vial se convierta en inevitable.
- Situación insegura maniobra evasiva ejecutada errónea. En este caso el conductor del vehículo amarillo percibe perfectamente el riesgo que le supone el vehículo rojo, pero decide que girando el volante de la dirección no va a colisionar con él. Esa decisión y la maniobra ejecutada es lo que determina que exista colisión, si hubiera decidido frenar y ceder el paso hubiera evitado el impacto.
- Situación insegura error en la decisión sobre la maniobra evasiva. A diferencia de la anterior en que se ejecutó una maniobra evasiva, giro de volante a la izquierda, en este caso el conductor del vehículo amarillo ve acercarse al vehículo rojo pero decide no hacer nada o simplemente no hace nada.
- Situación insegura combinación de errores y fallos. En este caso hay una combinación de una situación insegura en la conducción por llevar una velocidad de circulación inadecuada, obsérvese el PPR por detrás del PPP, a la que hay que añadir un retraso en la percepción, obsérvese la distancia entre PPP y PPR, y finalmente un error en la decisión de la maniobra evasiva que debería haber ejecutado.

En este modelo un atributo es cualquier característica inherente a una carretera, a un vehículo o a una persona que afecta a la probabilidad de ocurrencia de un siniestro vial. Los atributos pueden estar presentes en diversos grados, como por ejemplo el coeficiente de rozamiento. Es innecesario referirse a un accidente concreto para describir un atributo. Los atributos son características que explican el comportamiento de las personas o los propios eventos. No son acciones, ni actos, ni por tanto forman parte del comportamiento, sino que son características que explican el comportamiento de las personas o sus actos, por ejemplo la adherencia del pavimento sería un atributo de la vía. Si los atributos pudiesen ser medidos u observados en diferentes momentos, se descubriría que existe una importante variabilidad de los mismos, ya que la mayoría de ellos cambia más o menos de una vez a otra.

En general, los modificadores son aquellas circunstancias que hacen cambiar a los atributos de la carretera, el vehículo, o el conductor. Estos modificadores son los responsables de los cambios en los atributos que, a partir de una condición originalmente normal o esperada, hacen la conducción de vehículo más o menos peligrosa, al menos momentáneamente. Los modificadores deben afectar directamente a los objetos modificados. Algunos de estos cambios ocurren por un periodo corto de tiempo, por ejemplo un estornudo, mientras que otros son bastante graduales como aquellos asociados a la edad del conductor. Después de algunos de estos cambios, las

personas, los vehículos o la carretera vuelven a su condición previa, pero después de otros esta vuelta no se produce y los cambios devienen permanentes. Por este motivo se diferencia entre modificadores temporales o permanentes.

En el siguiente cuadro se puede, sin ánimo de exhaustividad, ver una relación de los atributos del factor humano, el vehículo y la vía, así como sus correspondientes modificadores, tanto temporales como permanentes:

Tabla 6: Factores condicionantes que contribuyen a los siniestros viales

ATRIBUTOS		MODIFICADORES	
FACTORES HUMANOS			
Relativos al reconocimiento	Hábitos de observación Habilidades sensoriales Hábitos de señalización Reconocibilidad (principalmente peatones) Conocimientos	Temporales	Exposición al sol, gafas,... Problemas emocionales Presión, tensión y prisa, preocupaciones, Tiempo, condiciones climatológicas Irritantes ingesta o inhalación Fatiga aburrimiento Enfermedad temporal, Lesión
Relativos a la Decisión	Inteligencia, juicio, actitudes Estabilidad emocional Alerta, concentración		Objetos o cosas transportadas Vestimenta Prótesis
Relativas a la ejecución	Habilidades operativas, hábitos Tamaño, peso y fuerza Libertad de movimientos	Permanentes	Deterioro, edad Enfermedad crónica Lesiones permanentes Experiencia, aprendizaje Costumbres, tradiciones Autoridad, vigilancia y control del cumplimiento de las normas
FACTORES DE LA VÍA			
Relativos al Reconocimiento	Luces, iluminación Visibilidad Obstrucciones visuales Reconocibilidad Ayudas a la reconocibilidad Distracciones, monotonía Confusión Estandarización Señales de peligro o informativas	Temporales	Climatología, condiciones atmosféricas Luz natural Aparatos circunstanciales Actividades de mantenimiento vía Objetos situados en los laterales de la vía Obstáculos en la vía Pérdidas de alineación Símbolos sociales y legales Depósitos superficiales, roderas Daños en la vía, baches
Relativos a la Decisión	Señales Control de las señales viales Señales de regulación y marcas		
Relativas a la Ejecución	Alineación Carácter de la superficie Dimensiones Instrumentos restrictivos	Permanentes	Deterioro, antigüedad Desgastes
FACTORES RELATIVOS AL VEHÍCULO			
Relativos al Reconocimiento	Reconocibilidad Ayudas a la reconocibilidad Faros Sensores de ayuda Obstrucciones visuales Distracciones Instrumentos Mandos de señalización Información de control	Temporales	Deslumbramiento Climatología Depósitos superficiales Carga Pasajeros Símbolos sociales y legales Perdidas de regulación Daños, contaminación
Relativos a la Decisión	Comodidad Simbolismo Controles automáticos		
Relativas a la Ejecución	Configuración de control Funcionalidad Espacio operativo Dimensiones, peso Comportamiento, estabilidad	Permanentes	Deterioro, antigüedad Daños irreparables Desgastes

A la vista del cuadro anterior, factor puede, entonces, ser definido como cualquier circunstancia contribuyente a un resultado sin el que el resultado no hubiera ocurrido. Cada factor es un elemento que es necesario para producir el resultado, pero no suficiente, por sí mismo, para producirlo.

Normalmente algunos factores deben confluír a la vez, para que el resultado se produzca. Cuando las condiciones actúan simultáneamente como factor causante de un resultado, el grado de implicación de cada condición es importante. El mismo resultado puede suceder cuando una condición está en un nivel bastante distinto, facilitando que otras condiciones se encuentren a la vez en determinados niveles.

Cada evento en una serie depende de ciertas condiciones y cada condición generalmente depende de ciertos eventos previos. Algunas de las condiciones y eventos pueden ser obvios, pero otros no lo serán tanto. Por este motivo, las combinaciones válidas son difíciles de determinar.

Finalmente, entendiendo que causa es cualquier cosa que se requiere para producir un determinado resultado, puede entenderse que la causa de un siniestro vial es la combinación de factores simultáneos y secuenciales sin cuya concurrencia el resultado no habría ocurrido.

## **2.2 Modelo de la Escuela de Tráfico de la Guardia Civil**

A finales de la década de los años sesenta del pasado siglo, varios Oficiales de la Guardia Civil ampliaron sus estudios en investigación de accidentes de tráfico en el Instituto de Tráfico de la Northwestern University. A partir de aquí ese Instituto autorizó, en 1970, una edición restringida de su manual traducida al español por el entonces Comandante de la Guardia Civil, D. Vicente Gajate Cortes. El modelo de Baker fue remodelado, adaptado y desarrollado, tanto por el Magistrado D. Miguel López-Muñiz Goñi como por parte del profesorado de la Escuela de Tráfico de la Guardia Civil. En 1991, los entonces Comandantes de la Guardia Civil, D. Joaquín Borrell Vives y D. Pedro Algaba García, junto al Capitán D. Juan Martínez-Raposo Piedrafitas actualizaron y dieron nuevo contenido al manual de investigación de accidentes de tráfico.

Se parte de la afirmación que el siniestro vial, a pesar de su rapidez, no se produce de una manera instantánea, sino que sufre una evolución que se desarrolla en el tiempo y en el espacio mediante una serie de circunstancias sucesivas que se van encontrando hasta producir el resultado (Borrell Vives, et al., 1991, p. 41).

El tiempo es reconstruido a base de momentos en los cuales las personas que intervienen en el accidente han debido de obrar de una manera determinada y lo han hecho o no. En el espacio existirán áreas o zonas en las que los hechos se producen y, dentro de ellas, determinados puntos, en donde situar acciones concretas.

El conjunto de un momento y un punto será la posición. La unión de varias posiciones dará lugar a una fase del accidente. En la clasificación clásica y mayormente aceptada por los investigadores españoles, pueden distinguirse tres fases:

- Fase de percepción.

- Fase de decisión.
- Fase de conflicto.

En la figura puede verse la distribución de estas tres fases, junto a los puntos de referencia que se encuentran dentro de cada una de ellas, cuya definición coincide casi plenamente con la formulada por Baker:

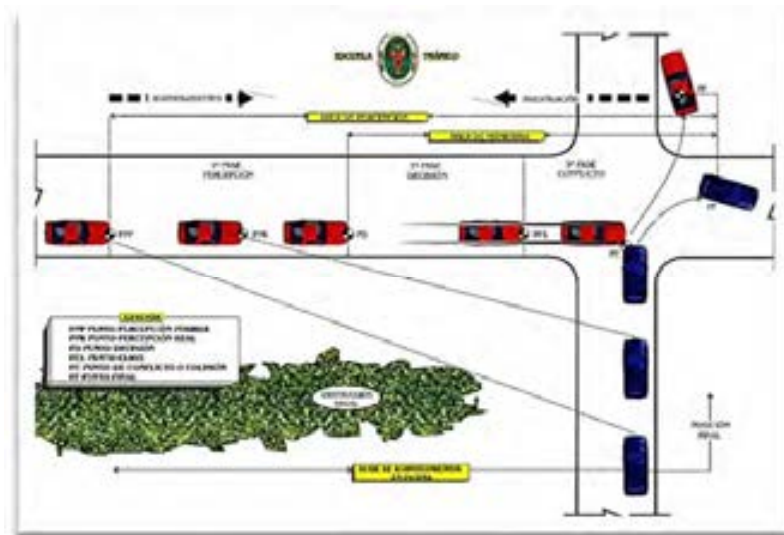


Figura 6: Aplicación del modelo a una colisión Angular Ortogonal Lateral Delantera

Los puntos coinciden con los expuestos arriba en el modelo de Baker, salvo por pequeñas diferencias de nomenclatura, por lo que se evitarán reiteraciones innecesarias en este momento.

### 2.3 Modelo francés del INRETS

El método INRETS intenta establecer los hechos o eventos relativos al desarrollo del siniestro, apoyándose al máximo en una reconstrucción cinemática, para organizarlos en una serie de fases sucesivas.

No existe una definición de lo que se entiende como fase, ni en el Método INRETS ni en el modelo secuencial de reconstrucción cinemática, por lo que acudiendo a las fuentes originales se puede afirmar que una fase es el conjunto de posiciones de los vehículos implicados a lo largo del tiempo en que se van desarrollando los eventos que desembocan en la producción del siniestro.

Aquí existe una aparente contradicción entre la división y nomenclatura establecida en el método INRETS (Brenac, 1997, p. 11) y la que se establecía en el modelo secuencial (Lechner, et al., 1986, p. 6). Así mientras en este último el siniestro consta de tres fases, -precolisión, colisión y poscolisión-, en el método INRETS hay cuatro fases, -conducción normal, peligro, urgencia y choque-, junto a dos puntos de ruptura, el primero que da lugar a una situación de peligro y el segundo, a la colisión o



al impacto. En la figura abajo inserta se han establecido los paralelismos y equivalencias entre unas y otras fases.

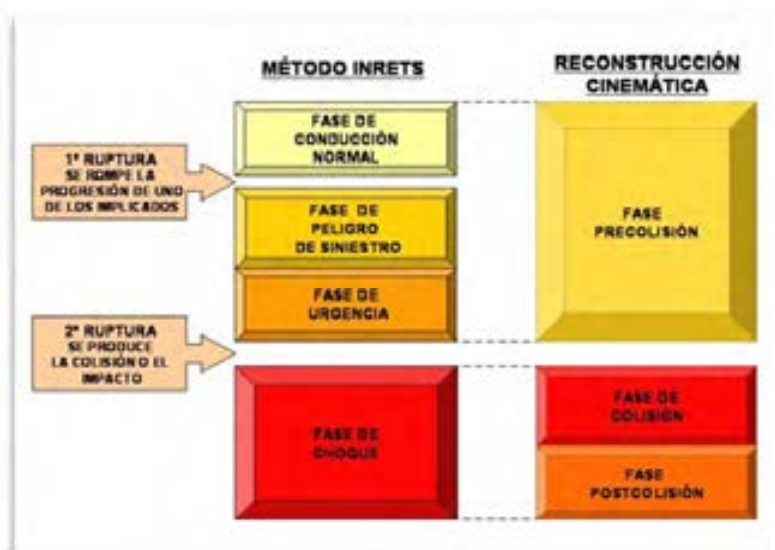


Figura 7: Comparación entre la secuencia de fases en el Método INRETS y el modelo secuencial de reconstrucción cinemática

Una secuencia cinemática es una entidad espacio-temporal que se distingue de los instantes anteriores y posteriores por la modificación de, al menos, un parámetro cinemático, que la mayoría de las veces es la aceleración del vehículo implicado.

Un evento no está definido completamente ni en el método INRETS ni el modelo secuencial cinemático, pero en el método hay dos eventos que tienen especial relevancia. El primer punto de ruptura que es aquel evento que constituye una discontinuidad en la evolución normal de la situación de conducción rutinaria para uno de los implicados, marcando la transición a una situación degradada de peligro. El segundo punto de ruptura lo constituye la propia colisión, a partir de la cual cada vehículo, o cada implicado en esta colisión, evolucionan hasta sus posiciones finales.

Una vez establecida la secuenciación de las fases del siniestro y realizada la reconstrucción cinemática, el método INRETS reanaliza los datos para establecer los factores que están presentes en la génesis o en el desarrollo del siniestro. Por este motivo se diferencia entre factores accidentológicos, por un lado, y factores de gravedad, por otro.

El factor accidentológico es un estado de un elemento del sistema hombre-vehículo-infraestructura y medioambiente, que es necesario, pero no suficiente por sí solo, para que el siniestro se produzca, y sobre el que sería posible actuar de alguna forma (Baker & Fricke, 1986, pp. 52-4; Brenac, 1997, p. 23).

El Factor de gravedad, por el contrario, contribuye a agravar las lesiones o los daños materiales resultado de la colisión, y sobre él, también, es posible establecer algún tipo de acción o medida específica.

El análisis secuencial del siniestro vial, según lo lleva a cabo el INRETS, parte de una premisa, según la cual existe una continuidad de eventos desde la conducción normal hasta el desenlace final de la situación que provoca el siniestro vial.

Como importante limitación de este sistema de trabajo, hay que apuntar que se trata de un método concebido para ser aplicado retrospectivamente a la ocurrencia del siniestro, por lo que debe basarse en un atestado o informe policial. De esta documentación debería extraerse la información necesaria para realizar un análisis secuencial del siniestro que permita realizar un diagnóstico de seguridad vial estableciendo, si fuera necesario, uno o varios escenarios tipo. El análisis de la información debería centrarse en el estudio de las declaraciones de los conductores e implicados, los testimonios de los testigos, las evidencias materiales, el croquis y las fotografías tomadas en la escena del siniestro. Aquí tiene su entrada la reconstrucción secuencial cinemática del siniestro.

El objetivo confeso de los autores de este método es la prevención de siniestros y de sus consecuencias. Es un método para ser utilizado en el diagnóstico de seguridad vial, de una forma más amplia que los estudios tradicionales de auditoria de seguridad vial centrados en el estudio de la infraestructura.

## **2.4 Aportaciones de los modelos secuenciales de eventos a MOSES**

Es una obviedad reconocer que MOSES es un modelo secuencial de eventos cuya estructura conceptual principal está basada en este tipo de modelos del siniestro vial, por lo que no es de extrañar la abundancia de sus aportaciones:

- La aplicación de una teoría cognitiva del procesamiento de la información por el conductor aplicada a la evolución de los eventos de un siniestro vial.
- La importancia del evento crítico dentro de la secuencia que conduce al siniestro vial por significar la rotura de la estabilidad del sistema.
- La importancia del tiempo como variable en la evolución de la secuencia de eventos y la importancia del estudio sincronizado de eventos y acciones en determinadas posiciones dentro de la secuencia.
- La reconstrucción retrospectiva del siniestro vial aplicando las teorías de la mecánica clásica para determinar las principales variables que definen el estado del sistema vial antes de la ocurrencia del siniestro vial.
- La existencia de condiciones que modifican los resultados de las acciones humanas y hacen variar los eventos de la secuencia modificando las causas del siniestro.
- La supresión de las condiciones que favorecen la ocurrencia de siniestros viales permite disminuir el riesgo de que la misma acción humana errónea acabe en un siniestro vial.

### 3. MODELOS EPIDEMIOLÓGICOS

Esta familia de modelos hunde sus raíces en la investigación médica, concretamente se basan en la aplicación y trasvase de conceptos, principios y métodos de la Epidemiología a la investigación de siniestros viales. A pesar de lo particular de su origen, han tenido una gran repercusión no solo en la investigación de siniestros sino en otros muchos campos del saber.

Como ventajas de los modelos epidemiológicos aplicados a la Seguridad Vial se pueden citar las siguientes:

- Son aplicables en todo tipo de modos de transporte y se suelen obtener buenos resultados a partir de ellos.
- Son ampliamente utilizados y aceptados, especialmente en el campo de la Medicina.
- Permiten un planteamiento flexible que permite ser acomodado a diferentes taxonomías de causas.
- Pueden utilizarse para organizar, calcular y presentar: en primer lugar, los factores de riesgo; en segundo lugar, la exposición al riesgo; en tercer lugar, las circunstancias en que se producen las lesiones y, finalmente, las medidas preventivas a adoptar.

Como regla general hasta la aparición de los modelos epidemiológicos, los análisis de riesgo han estudiado en forma separada al usuario de la vía pública, al vehículo y al entorno vial. En este tipo de modelos se utiliza un incipiente marco sistémico que toma en consideración las interacciones entre los diferentes elementos.

#### 3.1 Modelo epidemiológico básico (HAE)

En 1949, Gordon publicó que el control de las lesiones que sufren las personas, incluidas las debidas a siniestros viales, se debería situar dentro del marco de la Epidemiología. En esta materia, los problemas de salud son considerados como el resultado de las interacciones entre el paciente (*Host*) y el agente (*Agent*) en un determinado medioambiente (*Environment*). De aquí la denominación del modelo.

El principal agente en un siniestro es, de forma cotidiana, alguna forma de energía que causa un daño físico o lesión. Se distingue entre un agente y el vehículo para el agente. En un siniestro vial consistente en una colisión entre automóviles, el agente es la energía cinética y el vehículo es el automóvil (Gordon, 1949, p. 507).



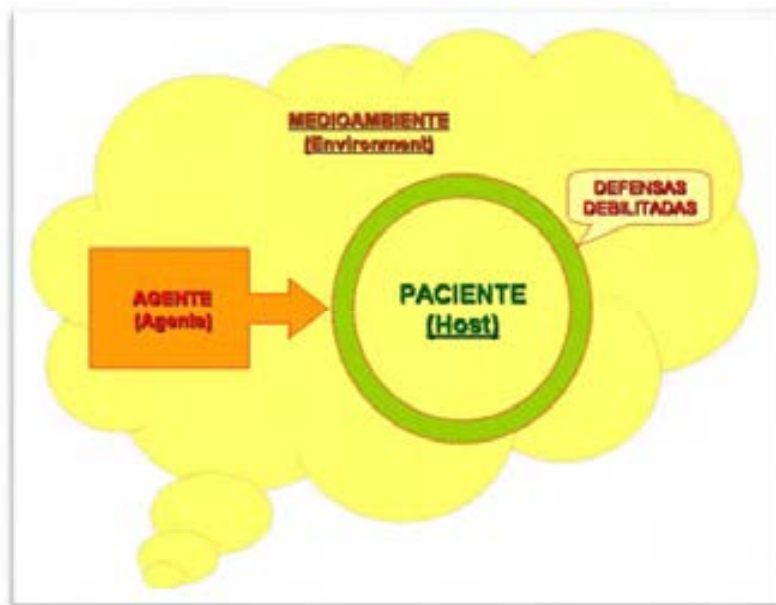


Figura 8: Modelo epidemiológico HAE (Host-Agent-Environment)

A finales de los años sesenta del Siglo XX, un doctor en medicina cambió las perspectivas de la investigación de siniestros significativamente con su insistencia en unas bases etiológicas para analizar las lesiones producidas en siniestros (Runyan, 2003, p. 60).

La tesis de Haddon es que todas las lesiones son el resultado del exceso de energía del medioambiente, por ejemplo la energía cinética o la energía térmica, que es transferida al cuerpo humano. Para comprender cómo sucede un siniestro, se debe investigar tanto a las personas involucradas como las propiedades físicas y socioculturales del medioambiente circundante. También hay que atribuir un importante papel al denominado agente, que actúa como transmisor de la energía dañina, por ejemplo el vehículo de motor en un siniestro vial (Haddon, 1980, p. 412).

### 3.2 Modelos de energía y barreras

A principios de los años sesenta del siglo pasado, Gibson introdujo el concepto de flujo de energía en el análisis del proceso del siniestro, centrándose en varios vectores de fuentes de energía potencialmente dañinos (química, cinética, eléctrica y térmica). También definió las barreras como aquellos elementos que facilitan protección frente a los dañinos efectos del siniestro. La idea clave de su planteamiento pasaba por conseguir identificar estas barreras para desarrollar defensas adicionales o mejoradas frente a las amenazas potenciales o reales (Haddon, 1983, p. 7; Runyan, 2003, p. 60).

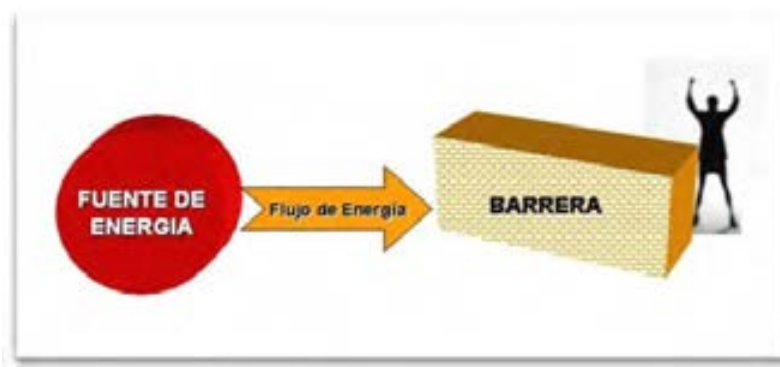
Poco tiempo después, Haddon se sumó al grupo de defensores del concepto de la transferencia indeseada de energía como paradigma de la verdadera génesis del siniestro. Las fuentes de energía, generalmente, implicadas en un siniestro son las químicas, las cinéticas, las eléctricas y las caloríficas. El trabajo de Haddon enfatiza la prevención de siniestros a través del control de la energía. Por eso, contribuyó al establecimiento de medidas de control mediante la adopción de diferentes medidas preventivas o la colocación de varios tipos de barreras (Haddon, 1973, p. 327).

Sus investigaciones en materia de seguridad se basaban en una visión comportamental. Desde esta perspectiva clasificó las barreras en físicas, de supervisión, de gestión, de organización o culturales. Las barreras administrativas, tales como reglas o regulaciones, son mucho más fáciles para infringir que las barreras físicas tales como vallas de contención o los canalizadores de tráfico. En la actualidad la tipología más extendida las clasifica en barreras materiales o físicas, barreras funcionales, activas o dinámicas, barreras simbólicas y barreras inmateriales (Hollnagel, 1999, p. 14).

El modelo epidemiológico de barreras se basa en un conjunto de conceptos útiles introducidos y extendidos por Haddon (Johnson, 1973, p. 31). Estos conceptos han sido adaptados y mejorados por otros autores, en lo que se denomina método de Análisis de Barreras (BA), hasta que esta técnica se ha convertido en una herramienta clásica de los análisis de seguridad (Lind, 2012, p. 2). Para facilitar una mejor comprensión del modelo, es necesario afrontar algunas definiciones de términos específicos:

- Fuente de energía es cualquier material, mecanismo o proceso que contenga energía potencial que pueda ser liberada causando un posible daño a un potencial objetivo.
- Trayectoria de energía es el trayecto a través del cual el flujo de energía desde la fuente al objetivo.
- Barrera de energía es cualquier diseño o método administrativo que prevenga peligros de la fuente de energía de alcanzar a un objetivo potencial en una suficiente magnitud para causar daño o lesiones. Las barreras separan el objetivo de la fuente de varias maneras tanto en el tiempo como en el espacio. Las barreras pueden tomar diferentes formas, tales como las barreras físicas, las barreras de distancia, las barreras de tiempo, y los procedimientos que sirven de barrera.

En cualquier modelo básico de energía, tal y como puede verse en la figura abajo inserta, una barrera es cualquier medio que separa un objetivo vulnerable de una fuente peligrosa de energía. Ahondando en este concepto, Johnson definió una barrera como la medida física o procedimental para dirigir la energía hacia canales deseados y controlar las pérdidas o descargas indeseadas (Johnson, 1973, p. 33).



*Figura 9: Representación gráfica del concepto de barrera de seguridad*

La técnica BA se utiliza para identificar las trayectorias de flujo de energías que pueden ser peligrosas y después identificar o desarrollar las barreras que deben ser

situadas para prevenir el flujo de energía para dañar al equipo o a las personas (Hollnagel, 1999, p. 32).

Los siguientes son principios básicos que ayudan a resumir este modelo (Hollnagel, 2004; Svenson, 2000, p. 10; Hollnagel, 1999, p. 21):

- Se aplica el foco de su análisis en las fuentes de energía potencialmente peligrosas dentro del diseño del sistema y en las barreras intencionales que pueden mitigar los riesgos de esa energía.
- Algunos riesgos identificados a través del modelo BA puede requerir más análisis detallados por otros modelos, por ejemplo alguno secuencial, para asegurar que todos los factores causales de riesgo son identificados y mitigados.
- El uso de hojas de cálculo facilita la estructura y el rigor al proceso de análisis de los diagramas de flujo de energía y al análisis de barreras.

BA sirve para analizar el papel de la energía en determinados sistemas y para guiar la búsqueda para riesgos o peligros específicos que requieren un análisis detallado. Este modelo, en sus diversas variantes, ofrece al investigador un procedimiento disciplinado, consistente y eficiente para descubrir los peligros y riesgos derivados de la energía en un sistema. En el sistema vial esa energía es de naturaleza mecánica cinética. De la misma forma, puede también ser utilizado durante las investigaciones de siniestros para ayudar al desarrollo y comprender los diversos escenarios que derivan en lesiones o daños.

### **3.3 Modelo de Houston**

En la década de los años setenta, Houston desarrolló otro modelo epidemiológico, basado en las ideas de Gordon y en los gráficos de árboles de errores (FTA). En este modelo una fuerza conducida se activa por un disparador, que a través de un proceso de contacto, le causa lesiones o daños a un objetivo (Lees, 1996b, pp. 27-11).

En este modelo, se necesitan tres factores de entrada, -objetivo, fuerza dirigida y gatillo-, para que el siniestro ocurra. Las principales fuerzas dirigidas son la energía y las toxinas (Kletz, 2001, p. 7).

La evolución del siniestro se determina a través de una serie de parámetros: en primer lugar, la probabilidad de contacto ( $p$ ) es la probabilidad de que todos los factores necesarios de entrada se presenten en un determinado momento; en segundo lugar, la eficiencia de contacto ( $e$ ) que se define como la fracción de la fuerza dirigida que realmente alcanza el objetivo; en tercer lugar, la efectividad del contacto ( $\eta$ ) que es la ratio de daño realmente causado al objetivo en las condiciones dadas frente a ese mismo daño en unas condiciones estándar; en cuarto lugar, el tiempo de contacto ( $t$ ) es el intervalo de tiempo que dura el contacto entre las fuerzas dirigidas y el objetivo; en quinto lugar, el objetivo, o en este caso la persona, tiene un umbral de intensidad ( $\theta$ ) por debajo del cual la fuerza dirigida no tiene efectos. El gatillo tiene también un límite umbral ( $\theta'$ ) a partir del cual se disparan o comienzan a operar las fuerzas dirigidas (Lees, 1996b, pp. 2-2).



Figura 10: Modelo epidemiológico de Houston

Del análisis del modelo se concluye que existen diferentes vías para reducir la probabilidad de ocurrencia o la severidad del siniestro. En primer lugar, se puede hacer desaparecer o convertir en inoperativo a alguno de los factores de entrada, en segundo lugar, se puede minimizar la probabilidad de contacto tomando acciones preventivas o paliativas y, finalmente, la efectividad del contacto puede reducirse a través de las reacciones adaptativas.

### 3.4 Modelo matricial de Haddon

Haddon utilizó un modelo conceptual básico epidemiológico para analizar los siniestros viales aplicándole un sistema temporal desarrollado a través de diversas fases (Haddon, 1968, p. 1436; Runyan, 2003, p. 61). Este modelo muestra cómo interactúan, durante la secuencia que conduce a una colisión, el factor humano, el vehículo y el medioambiente para definir la frecuencia y severidad de las lesiones en la fase que sigue inmediatamente al impacto. Haddon, siempre, puso énfasis en distinguir, dentro del siniestro vial que finaliza en lesión, entre lo que ha sucedido antes del impacto y cómo se ha gestionado el siniestro vial después del mismo.

El proceso secuencial del siniestro se modelizó como un sistema matricial en el cual se incluyeron tanto las fases del siniestro como los componentes del mismo. Los conceptos epidemiológicos de agente-anfitrión-ambiente se utilizaban para definir las columnas de la matriz. En las filas colocaba tres fases sucesivas que definían el suceso analizado, que en el caso de un siniestro vial sería: el preimpacto, el impacto en sí mismo considerado y finalmente la fase postimpacto (Haddon, 1983, p. 15).

MATRIZ DE HADDON	ANFITRION (Host)	VEHÍCULO (Agent)	MEDIOAMBIENTE (Environment)	
			FÍSICO	SOCIAL
PREIMPACTO				
IMPACTO				
POSTIMPACTO				

Figura 11: Matriz de Haddon genérica aplicable a cualquier suceso relevante

Rellenando las celdas de la matriz, se pueden identificar un amplio espectro de riesgos potenciales y de factores implicados que están dirigidos a cada elemento, las columnas, y que tienen influencia en cada una de las diferentes fases, o sea, las filas.

A partir de las conclusiones alcanzadas en este modelo, en 1967 se adoptaron a nivel federal en los Estados Unidos de Norteamérica una serie de medidas preventivas de seguridad vial que tuvieron buenos resultados. Estas medidas fueron la prohibición de la conducción habiendo consumido alcohol, la exigencia de permiso de conducción y el uso del casco en las motocicletas. Al año siguiente, se promulgó, en ese país, la primera normativa de exigencia de requisitos de seguridad para los nuevos vehículos. Estos requisitos se centraban, entre otros aspectos, en los cinturones de seguridad, en las columnas de la dirección con capacidad de absorber energía, en los cristales laminados, o en los refuerzos laterales en las puertas.

Algunos investigadores siguen utilizando actualmente la matriz de Haddon para determinar donde se pueden realizar intervenciones efectivas en la secuencia de una determinada tipología de siniestros (Hermitte, 2012, p. 18; Vries & Jongerius, 2007, p. 111).

Este enfoque sirve para determinar las condiciones en un siniestro vial adoptando el método epidemiológico de determinación frente al tradicional razonamiento casuístico. De acuerdo con este procedimiento, cuando se analizan los extensos datos extensos disponibles sobre una amplia muestra de siniestros viales, se pueden descubrir aplicando técnicas estadísticas las condiciones, denominadas en este contexto factores epidemiológicos, están asociados con su ocurrencia en una mayor o menor frecuencia.

Una parte importante de la utilidad del modelo recae en que facilita la realización de tormentas de ideas en los grupos interdisciplinarios que fomentan el desarrollo de ideas innovadoras que a menudo llegan más allá de lo que podría llegar la perspectiva individual de cualquiera. La principal limitación de este modelo se encuentra en su falta de idoneidad para descubrir, con mayor profundidad, las causas y los factores causales remotos.

### **3.5 Aportaciones de los modelos epidemiológicos**

Los modelos epidemiológicos aportan una serie de conceptos y una perspectiva enriquecedora que no contradice las principales contribuciones de los modelos anteriores:

- La epidemiología es principalmente una herramienta metodológica a utilizar en la investigación de siniestros.
- Esta familia de modelos es la primera que intenta tener una visión más completa y profunda de cada uno de los subsistemas y factores implicados en el siniestro vial.
- La representación matricial permite visualizar y organizar los factores correspondientes a cada subsistema implicado en el siniestro vial a lo largo del tiempo.

- La distribución del tiempo en fases antes y después de la ocurrencia del evento dañino permite analizar las acciones y condiciones que llevaron a la ocurrencia del hecho y las que agravaron o paliaron sus consecuencias.
- La formulación del concepto de barrera y su aplicación como elemento preventivo y defensivo para evitar o paliar los efectos negativos del siniestro vial.
- La energía como elemento fundamental en la génesis del siniestro vial y en sus consecuencias lesivas.

#### **4. MODELOS DEL FACTOR HUMANO**

De una u otra forma todos los modelos que intentan dar una explicación racional al siniestro vial tienen en cuenta al ser humano, ya sea como conductor ya sea como peatón o usuario de la vía, pero en esta familia de modelos las personas son el centro de esa explicación. La mayoría de estos modelos tienen su origen en la Psicología y pretenden ver el siniestro vial como el resultado de errores, carencias y fallos de los seres humanos en confluencia, aunque secundariamente, con otras condiciones referidas a los vehículos y al entorno vial.

##### **4.1 Modelos de habilidades**

Estos modelos ven la conducción como el resultado de un conjunto de habilidades susceptibles de ser medidas por medio de exámenes psicotécnicos, selectivos y eliminatorios. Esta visión estaba apoyada por las experiencias estadísticas de principios del siglo XX a las que se ha hecho referencia en el epígrafe de los modelos estadísticos.

La habilidad para conducir se entiende como la capacidad para procesar adecuadamente la información relativa al sistema vial, que desemboca en un efectivo control del vehículo. En estos modelos, la conducción es reducida al ejercicio de una serie de habilidades sensoras, perceptivas y motoras que los seres humanos poseen en mayor o menor grado y que pueden medirse y perfeccionarse a través de las mismas técnicas e instrumentos desarrollados para el estudio de la ejecución de cualquier tarea humana que implique habilidades (Kuiken & Heijer, 1995, p. 10).

Dentro de una concepción general de la conducción como una tarea de pasos impuestos, el conductor no es más que un elemento que percibe y responde, diestramente o no, a las demandas del sistema vial, que vienen determinadas por factores ajenos a él mismo.

Como ejemplo de este tipo de modelos se presenta el formulado por Rockwell y cuya representación esquematizada se puede observar en la figura abajo inserta (Rockwell, 1972, p. 135).



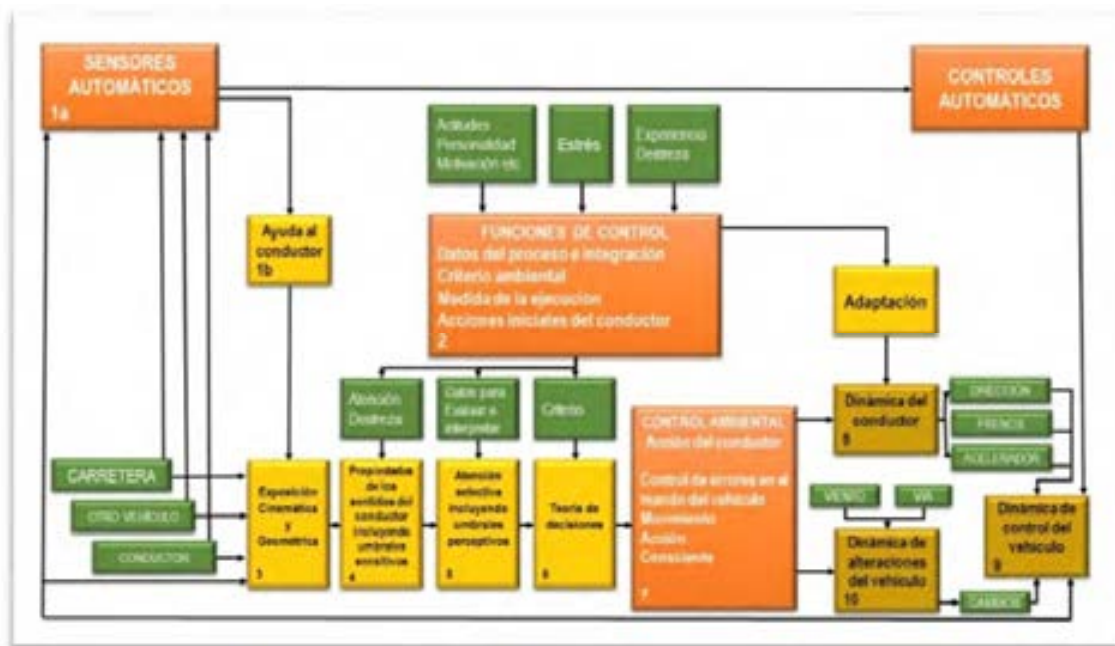


Figura 12: Diagrama de las funciones del conductor

En este modelo, el conductor adquiere información sobre la situación de todos los elementos del sistema vial mediante una exploración fundamentalmente perceptiva y, a continuación, la procesa, lo que le va a permitir tomar una decisión y ejecutar una acción. La conducción de vehículos es un proceso controlado por el conductor. Las características físicas y psicológicas del sujeto (personalidad, actitudes, motivaciones, estrés, experiencias, destrezas, etc.) influyen tanto sobre su capacidad perceptiva y atencional, como sobre su capacidad de decisión y respuesta; repercutiendo en última instancia sobre la forma en que conduce. Sin embargo, la atención en este modelo se centra en el proceso de adquisición de la información relevante, relegando a un segundo plano los factores motivacionales y emocionales implicados.

En resumen, la seguridad al volante estaría a merced, fundamentalmente, del nivel de habilidad del conductor para adaptarse a las exigencias que le imponen las distintas situaciones de circulación, siendo ese nivel de habilidad fruto de la conjunción de su capacidad sensitiva, perceptiva, atencional, de coordinación motriz y reactiva, que constituirían las aptitudes requeridas para una conducción segura.

## 4.2 Modelos cognitivos

La perspectiva cognitiva del procesamiento de la información permite explicar la ejecución humana de las distintas tareas que forman parte de actividades complejas, como es el caso de la conducción de vehículos. El elemento fundamental para la articulación de esta explicación es el proceso psicológico de la atención.

### 4.2.1 Habilidades, Reglas y Conocimientos (SRK)

El modelo de Habilidades, Reglas y Conocimientos (*Skills, Rules and Knowledge, SRK*), formulado por Rasmussen en la década de los ochenta del siglo pasado, destaca dentro de este tipo de modelos por su utilidad como guía al investigador de siniestros, tanto de una forma positiva como negativa (Rasmussen, 1983 , p. 258).

El proceso perceptivo y atencional es el factor clave explicativo y eje central del marco teórico del modelo SRK. La clasificación de los niveles de ejecución o comportamiento humano en tareas complejas, tales como la conducción de vehículos, se basó en las nociones sobre control cognitivo en la ejecución de tareas.

En este modelo es fundamental la distinción de dos modos de control atencional: por una parte, el automático y, por otra parte, el controlado. A su vez, la distinción anterior dio lugar a la estructuración jerárquica de la ejecución de tareas humanas en tres niveles de procesamiento cognitivo (Rasmussen & Vicente, 1989, p. 528):

- Un nivel automático: Habilidades (*Skills*), en este nivel se ejecutan las tareas rutinarias o sumamente entrenadas bajo un control atencional casi automático. En estos casos, la misma tarea se ha ejecutado muchas veces.
- Un nivel semiautomático/semicontrolado: Reglas (*Rules*), en el que se ejecutan las tareas familiares bajo control atencional semiautomático o semiconsciente. Para estas actividades el ser humano posee reglas o patrones de soluciones almacenados en memoria porque se ejecutaron con anterioridad en el pasado.
- Un nivel controlado: Conocimientos (*Knowledge*), en el que se ejecutan las tareas nuevas o difíciles bajo control atencional consciente. En este supuesto, no se tienen ni reglas ni patrones de soluciones, sino solamente el conocimiento que permite aprender a llevarlas a cabo.

La principal conclusión referente a este modelo puede expresarse de forma matricial de acuerdo con la siguiente tabla.

Tabla 7: Tipos de ejecución de tareas según su modo de control

MODOS DE CONTROL			
SITUACIONES/ TAREAS	CONSCIENTE	SEMIAUTOMÁTICO/ SEMICONSCIENTE	AUTOMÁTICO
RUTINARIA			Ejecución basada en habilidades (S)
FAMILIAR PERO NO RUTINARIA		Ejecución basada en reglas (R)	
POSTIMPACTO	Ejecución basada en conocimientos (K)		

La conducción de vehículos es una tarea compleja, pero los diferentes tipos de viajes que puede hacer un conductor pueden incluirse en uno u otro apartado o analizarse según este modelo.

#### 4.2.2 Modelo de Queso Suizo

James Reason es uno de los autores que ha analizado con mayor profundidad el papel del factor humano en la causalidad de los siniestros, tarea que ha acometido, principalmente, a través del estudio del error humano (Reason, 1990, p. 12) y mediante



su modelo denominado Queso Suizo (*Swiss Cheese Model, SCM*) que ha sido, posteriormente, desarrollado (Shappell & Wiegmann, 2003, p. 45).

El modelo SCM aplica un paradigma sistémico y organizacional para comprender las acciones y fallos humanos en un entorno organizado y, desde estos principios, poder establecer una mejor prevención de siniestros, aunque la primera intención de Reason fue analizar el error humano en el marco del paradigma cognitivo. El modelo se basa en un concepto médico, según el cual las consecuencias dañinas de una acción o elemento activo pueden prevenirse con capas sucesivas de defensas, barreras y salvaguardias, que el modelo SCM son representadas como lonchas de queso (Reason, 2000, p. 769). En este sentido no se yerra cuando se afirma que este modelo podría clasificarse como epidemiológico, ya que utiliza una parte importante del armazón conceptual de esta tipología de modelos, y añade una visión sistémica de la génesis del siniestro.

En el SCM se describen cuatro niveles de errores humanos, cada uno con ciertas influencias en los próximos. Reason distingue entre acciones inseguras (fallos o condiciones activas) y condiciones latentes (Reason, 1990, p. 6), aunque ambas son representadas como agujeros en las capas de queso.

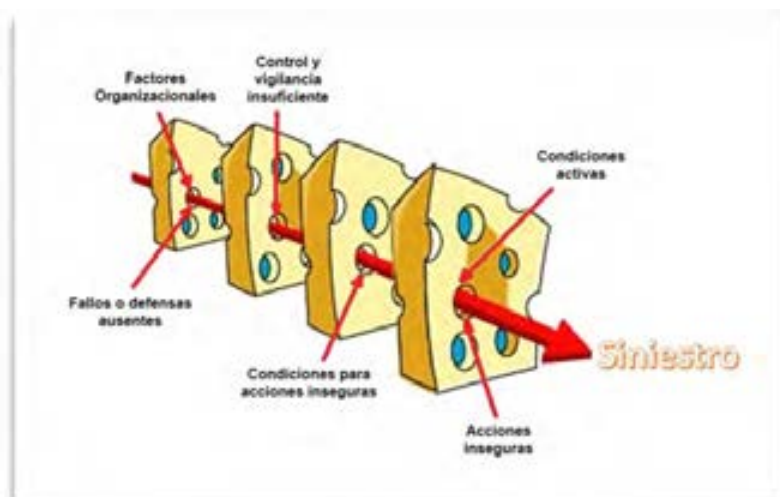


Figura 13: Representación del modelo SCM de Reason

Si el investigador reconstruye los eventos hacia atrás en el tiempo a partir de la producción del siniestro, se pueden observar que los primeros agujeros en la primera loncha de queso son producidos por las “acciones inseguras” de los operadores (Shappell & Wiegmann, 2000, p. 2). En el sistema vial estos operadores son los conductores de vehículos, los usuarios de la vía y los peatones. Esas acciones inseguras son las que disparan la cadena causal que produce eventos indeseados que conducen en último término al siniestro. En ellas se puede incluir la falta de respeto a la normativa y los errores por parte de los conductores y usuarios.

Por su parte las condiciones latentes no son las que producen de forma inmediata al siniestro, sin embargo, son condiciones que permanecen dormidas dentro del sistema y que pueden contribuir a futuros siniestros (Reason, 2000, p. 769), como por ejemplo un diseño defectuoso de una pieza del vehículo o los fallos de mantenimiento de los neumáticos. Estas condiciones derivan de fallos en el nivel estratégico y al más alto

nivel organizacional y tienen una influencia indirecta en la producción de los siniestros viales. De la misma forma, las condiciones latentes pueden llegar a incrementar la probabilidad de que se produzcan fallos activos.

En el segundo nivel como precondiciones de los actos inseguros se encuentran todas aquellas condiciones que afectan al operador en la ejecución de la tarea (Shappell & Wiegmann, 2000, p. 2). Entre ellas se encuentran la fatiga mental y las malas prácticas habituales en la ejecución de las tareas rutinarias en la conducción o el uso de las vías públicas.

En el tercer nivel del fallo humano, se encuentra el control y la vigilancia que el sistema puede ejercer sobre los operadores y los que estos ejercen sobre su propia ejecución. El modelo de Reason no se detiene en el nivel de la supervisión, sino que incluye a la propia organización como cuarto nivel objeto de análisis, ya que por sí misma puede impactar a la ejecución de los operadores a todos los niveles.

Teóricamente, el investigador debería identificar el mayor número posible de factores causales a todos los niveles dentro de la organización para considerar completa, cerrada y exitosa cualquier investigación sobre un siniestro vial, sin embargo, en la práctica la mayoría de estas investigaciones centran sus esfuerzos solamente en el primer nivel analizando únicamente las acciones inseguras y, consecuentemente, es en ese estadio donde son descubiertos la mayoría de los factores causales, dejando de lado las condiciones latentes.

Conceptualmente y gráficamente, lo que hace del modelo SCM particularmente útil para la investigación de siniestros viales es que fuerza al investigador a intentar determinar, también, las condiciones latentes dentro de la secuencia causal de eventos, que como se ha dicho por permanecer dormidas, pueden ser pasados por alto por los investigadores, incluso para los cargados de buenas intenciones. Por lo tanto, se debería examinar la secuencia completa del siniestro y llevarla más allá del simple nivel del conductor y de sus acciones inseguras.

Desafortunadamente, sin embargo, el modelo SCM es simplemente una teoría con poco nivel de detalle para poder ser aplicado en casos reales (Shappell & Wiegmann, 2000, p. 2). En otras palabras, el modelo nunca define, al menos en el contexto de las operaciones rutinarias, lo que constituyen realmente los “agujeros en el queso”. El investigador necesita saber cuáles son los posibles fallos en el sistema vial que ponen en jaque su seguridad para poder identificarlos durante su investigación, propiciando con ello que la propia organización pueda corregirlos para prevenir que el siniestro llegue a ocurrir (Reason, 2006, p. 114).

#### 4.2.3 Sistema de Análisis y clasificación de los Factores Humanos

El Sistema de Análisis y Clasificación de los Factores Humanos (*Human Factors Analysis and Classifications System, HFACS*) fue desarrollado a partir de los conceptos elaborados por Reason sobre el error humano, fallos latentes y fallos activos (Shappell & Wiegmann, 2000, p. 1). El modelo original describe 19 categorías causales clasificadas de acuerdo con los cuatro niveles del error humano establecidos por Reason (Shappell & Patterson, 2010, p. 1379), aunque el primer modelo tan solo contaba con 17 categorías (Shappell & Wiegmann, 2000, p. 3; Shappell & Wiegmann, 2001, p. 4).

El modelo HFACS describe el error humano en cada uno de los cuatro niveles de fallo: primero, actos inseguros de los operadores; segundo, condiciones previas de los actos inseguros; tercero, supervisión insegura y, cuarta, las influencias organizacionales (Shappell & Patterson, 2010, p. 1380; Shappell & Wiegmann, 2003, p. 76).



Figura 14: Sistema de Análisis y Clasificación de los Factores Humanos (HFACS)

Los actos inseguros se dividen en errores e infracciones (Reason, 1990, p. 8). El término error se aplica a todas aquellas ocasiones en las cuales la secuencia mental planeada o las actividades físicas no alcanzan los objetivos deseados sin la intervención oportuna exterior (Reason, 2013, p. 24). Las infracciones se refieren a la voluntaria conculcación de las reglas y normativas que regulan la seguridad de la actividad que se realice.

Si los investigadores se centraran simplemente en los actos inseguros, sin ir más allá se sabría muy poco sobre las verdaderas causas de los siniestros, por eso al preguntarse por qué se producen ese tipo de acciones aparecen las condiciones previas presentes en el sistema (Shappell & Wiegmann, 2000, p. 6). En el esquema final del modelo se dividen en las condiciones del operador, sus factores personales y los factores medioambientales.

Para tener en cuenta los fallos latentes en los sistemas sociotecnológicos, se creó de forma extensiva la categoría de la supervisión insegura, que fue dividida en cuatro subcategorías: la supervisión inadecuada, las operaciones planeadas incorrectas, la ausencia de corrección de los problemas conocidos y las infracciones en la supervisión (Shappell & Wiegmann, 2000, p. 9).

Las decisiones erróneas de gestión de nivel superior pueden afectar directamente a las prácticas de supervisión, así como a las condiciones y las acciones de los operadores. Desafortunadamente, estas influencias sobre el propio sistema sociotecnológico a menudo pasan desapercibidas y no son detectadas, incluso, por los investigadores mejor intencionados (Shappell & Wiegmann, 2001, p. 6).

El proceso de validación de este modelo, originalmente desarrollado para uso militar, permite extender su sistema de análisis y las categorías de error a la aviación comercial (Shappell & Wiegmann, 2001, p. 10) y, con posterioridad, ha sido ampliado y adaptado a la industria minera (Shappell & Patterson, 2010, p. 1381).

### **4.3 Los Modelos Motivacionales**

Todos estos modelos enfatizan el aspecto motivacional del concepto de riesgo, compartiendo la idea general de que si se quiere incrementar la eficacia de las medidas preventivas a adoptar, estas medidas, deben tener un carácter motivacional, que empuje a todos los implicados en situaciones de tráfico a percibir y asumir menos riesgos.

El postulado básico de los modelos cognitivo-motivacionales es que las creencias, expectativas y anticipaciones que los individuos tienen respecto a los eventos futuros son un determinante fundamental de su conducta, que se considera así: propositiva, dirigida a metas, y basada en las intenciones conscientes del sujeto.

#### *3.2.1 El Modelo de Amenaza- Evitación*

El modelo de amenaza-evitación, desarrollado por Fuller en 1984, considera que la actividad de conducir conlleva riesgo y puede producir daños, lo que debería motivar que los conductores identifiquen y eviten las situaciones que puedan ser peligrosas para ellos (Panou, et al., 2007, p. 13). En otras palabras, para evitar las amenazas o situaciones peligrosas que surgen en el tráfico, el conductor necesita conocer la relación entre los eventos y condiciones antecedentes, las diversas opciones de respuesta y las consecuencias de esas opciones. Esta fórmula puede ser adecuadamente denominada como el ABC del conductor (*Antecedents-Behaviour-Consequences, ABC*).

El término amenaza, en este modelo, hace referencia a que la mayor parte del tiempo que un conductor emplea en conducir, no se está enfrentando con estímulos aversivos, sino con estímulos potencialmente aversivos o amenazas. De la misma forma, el concepto de evitación se aplica en él porque prácticamente todo el tiempo que pasa un conductor a los mandos de su vehículo está evitando estímulos aversivos, por ejemplo, evitar un obstáculo en la calzada, o, en su caso, evitando la propia posibilidad de que esos estímulos surjan, por ejemplo reduciendo más su velocidad de circulación (Fuller, 1984, p. 1140).

En realidad, lo que hace el conductor es asociar los hipotéticos peligros derivados del tráfico con estímulos discriminativos relacionados con esas situaciones amenazantes, como por ejemplo, señales de tráfico de peligro, trazado con curvas, mal estado de la vía o sus propias incapacidades personales transitorias. De esta forma, el conductor puede anticipar y percibir un mayor o menor nivel de riesgo en cada una de esas situaciones, y aplicar principios de conducta bien aprendidos y consolidados, que le debería llevar a evitar el peligro.

En la figura abajo inserta se presenta la versión original del modelo de amenaza evitación, tal y como fue propuesto originalmente (Panou, et al., 2007, p. 505).

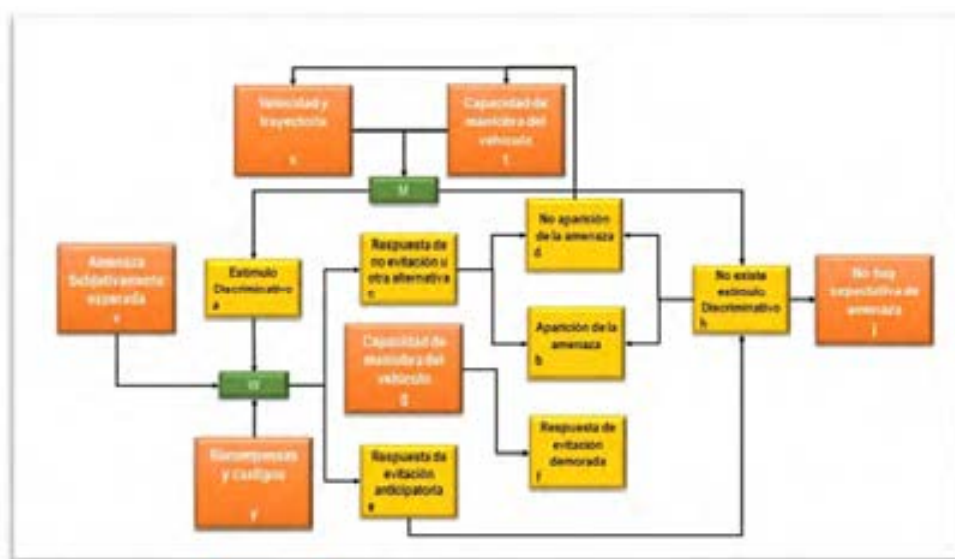


Figura 15: Modelo Amenaza-Evitación

Como hipótesis de partida, la actividad de conducción se encuentra determinada por sus consecuencias, y los siniestros viales surgen de la interacción entre lo que un conductor realiza o no, junto a determinadas condiciones de la vía y del entorno vial. Las acciones del conductor dependerán de su historia pasada de refuerzos frente a eventos y condiciones similares o idénticas.

El estímulo discriminativo para un conductor es la situación tal y como él la percibe, por ejemplo un peatón que se acerca al borde de la acera. Frente a ese estímulo deberá tomar una decisión respecto de su velocidad y situación en la calzada. En ese proceso decisional influirán la propia estimación subjetiva, de carácter probabilístico, sobre el grado de amenaza de siniestro vial y su análisis de las recompensas y castigos asociadas a las posibles maniobras a realizar (Michon, 1985, p. 506).

El conductor tendrá, pues, dos opciones fundamentales:

- Realizar una respuesta anticipatoria de evitación que elimine el peligro potencial y evite, en principio, correr el riesgo de un accidente, por ejemplo disminuir la velocidad y mantener el pie sobre el pedal del freno sin presionarlo, ceñirse a la derecha y fijar la vista en el peatón. La amenaza dejaría de ser aversiva o amenazante, porque el conductor tendría tiempo de maniobrar o detener el vehículo. En el supuesto de que no apareciera el

peligro, por ejemplo el peatón cambia de trayectoria y sigue en la acera, no llegaría a realizarse la amenaza, lo que permitiría al conductor mantener o elevar la velocidad de desplazamiento.

- Ejecutar respuesta de no evitación que asuma el riesgo de siniestro vial porque no existe reacción alguna frente al posible peligro, por ejemplo mantener una velocidad elevada, acelerar o invadir el carril contrario para superar al peatón). Por un lado, puede que no se presente un estímulo potencialmente aversivo, con lo cual no habrá amenaza y el conductor podrá mantener o, incluso, incrementar aún más su velocidad. Pero, por otro lado, si llega a presentarse dicho estímulo, se hará realidad la amenaza, con lo que el conductor deberá ejecutar una respuesta de evitación retardada, por ejemplo un rápido y fuerte frenazo, junto a un rápido ajuste de dirección. Cuanto más inminentes son los estímulos aversivos, menor es el tiempo disponible para responder, y más pequeño es el rango de opciones de ejecución exitosa de maniobras evasivas y, por lo tanto, aumentan las probabilidades de que el siniestro vial llegue a producirse.

En resumen, si la respuesta de evitación se ejecuta frente al estímulo discriminativo, antes de comprobar si le sigue un estímulo potencialmente amenazante, se está ante una respuesta anticipatoria de evitación, puesto que anularía el peligro potencial del estímulo aversivo caso de presentarse. Por el contrario, si la respuesta de evitación ocurre una vez que comienza a actuar el estímulo aversivo la denomina respuesta retardada de evitación. En este segundo caso, el riesgo de siniestro vial es mayor que si el conductor hubiese realizado una respuesta anticipatoria.

### 3.2.2 La Teoría Homeostática del Riesgo

La Teoría Homeostática del Riesgo (*Risk homeostasis theory, RHT*) fue formulada, por Wilde a principios de los ochenta, para resaltar la importancia de los factores humanos en todo tipo de actividades finalistas desenvueltas en un medioambiente de riesgo (Hoyes, et al., 1996, p. 77) y para explicar el proceso de toma de decisiones en cualquier situación de tráfico.

La RHT establece que, en general, la cantidad de riesgo que los conductores voluntariamente prefieren adoptar depende de cuatro factores de utilidad, teniendo en cuenta que ese riesgo asumido será mayor cuando los factores primero y cuarto sean más altos, y los factores segundo y tercero más pequeños (Wilde, 1998, p. 89):

- Los beneficios esperados por los conductores y usuarios de las alternativas de comportamiento arriesgado, como por ejemplo, la ganancia de tiempo por la velocidad, la lucha contra el aburrimiento o el incremento de la movilidad.
- Los costes esperados por los conductores y usuarios de las alternativas de comportamiento arriesgado, como por ejemplo, las sanciones por exceso de velocidad, las reparaciones de los vehículos y los recargos de los seguros.
- Los beneficios esperados por los conductores y usuarios de las alternativas de comportamiento seguro, como por ejemplo, descuentos en las pólizas de

seguro por no tener siniestros en un periodo determinado y una mayor cultura de la responsabilidad.

- Los costes esperados por los conductores y usuarios de las alternativas de comportamiento seguro, como por ejemplo, el uso de cinturones de seguridad incómodos, la pérdida de tiempo o soportar ser llamado cobarde por los amigos.

La hipótesis de partida establece que frente a una determinada situación de peligro, el conductor busca la información que la define y una vez obtenida, la interpreta, con el fin de anticipar sus posibles alternativas de acción y las probables consecuencias que tendrán frente a la situación original. Esas previsiones conllevan estimaciones subjetivas del nivel de riesgo de siniestro vial, que son comparadas continuamente con el nivel que cada persona está dispuesto a aceptar.

De esta manera, si el nivel de riesgo subjetivamente experimentado es menor que el aceptable, los usuarios tienden a realizar acciones que incrementan su exposición al riesgo. Sin embargo, si el nivel de riesgo subjetivamente experimentado es mayor que el aceptable, los seres humanos tratan de actuar con una mayor prudencia. Consecuentemente, las personas elegirán su siguiente acción de tal manera que la magnitud del riesgo subjetivamente esperado sea igual al nivel de riesgo aceptado. En el transcurso de esta siguiente acción, el riesgo percibido y aceptado son nuevamente comparados y la siguiente acción de ajuste es elegida con la idea de minimizar la diferencia entre éstos y así sucesivamente. Cada acción de ajuste en particular implica una probabilidad objetiva de riesgo de siniestro.

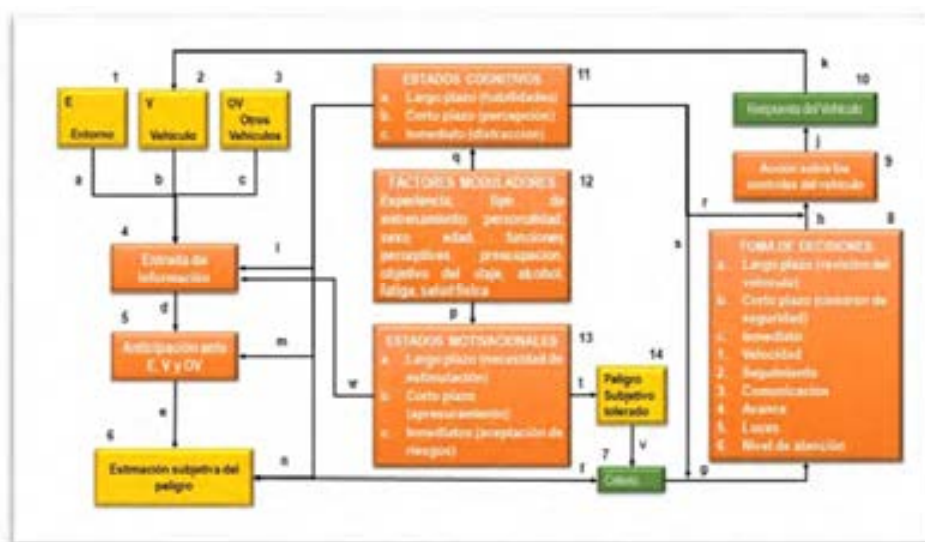


Figura 16: Diagrama del proceso de decisiones del conductor formulado por Wilde

Como consecuencia de la comparación entre riesgo percibido y riesgo deseado, el conductor elige y su decisión se plasma en acciones concretas sobre los mandos del vehículo; éstas, a su vez, crean nuevas condiciones que ponen de nuevo el proceso en marcha. Entre las diversas opciones disponibles, el conductor selecciona la alternativa que estima producirá la mayor utilidad neta. Los conductores son maximizadores de la

utilidad, y por tanto, con más o menos éxito, optimizadores -no minimizadores- del riesgo de accidente o de seguridad.

En función del mecanismo de ajuste explicado, todo elemento que se incorpore al ciclo causando el efecto de disminuir el nivel de riesgo percibido por los sujetos, por ejemplo el cinturón de seguridad, provoca una acción inmediata de reajuste que eleva correlativamente el nivel de riesgo aceptado, por ejemplo un aumento de la velocidad de circulación y, en consecuencia, del riesgo objetivo que desemboca en el aumento del número de siniestros viales (Wilde, et al., 2002, p. 1150).

#### **4.4 Aportaciones de los modelos basados en el factor humano a MOSES**

Los modelos basados en el factor humano tienen como centro de su análisis a las personas implicadas en el siniestro vial, porque si existe consenso es sobre la importancia que este factor tiene en la génesis del siniestro vial:

- Cualquier modelo del siniestro vial debe tener en cuenta las aportaciones de los modelos que estudian el factor humano si quiere poder llegar a sus causas profundas.
- La perspectiva cognitiva del procesamiento de la información permite explicar la ejecución humana de las distintas tareas que forman parte de actividades complejas, como es el caso de la conducción de vehículos.
- La clasificación de los niveles de ejecución o comportamiento humano en la ejecución de tareas complejas.
- La diferencia entre condiciones latentes y fallos activos.
- Los cuatro niveles de errores humanos, cada uno con ciertas influencias en los próximos. Por este motivo para incluir la supervisión y la organización en el sistema vial se ha introducido un nuevo subsistema que es el normativo.
- Un conductor no se enfrenta con estímulos aversivos en la conducción, sino con estímulos potencialmente aversivos o amenazas que intenta anticipar. La reacción evasiva frente a la amenaza.
- El concepto de homeostasis dentro del sistema vial es muy útil para estudiar los eventos y sus causas.
- Los conceptos de riesgo objetivo y subjetivo, así como el concepto de compensación entre el riesgo percibido y el riesgo real.

#### **5. MODELOS SISTÉMICOS DEL SINIESTRO VIAL**

La Teoría General de Sistemas (*General Systems Theory, GST*) es el método de estudio multidisciplinario de los sistemas considerados en su conjunto y no sólo de cada una de sus partes o elementos (Skyttner, 2005, p. 40). En la GST se espera que, al poner



todos los elementos juntos, conceptualmente o experimentalmente, la totalidad del sistema se haga comprensible a la comunidad científica. Para conseguir esto, lo más importante es no centrarse en la naturaleza de los elementos que componen el sistema, sino en comprender sus interrelaciones.

Un sistema, definido de una manera sencilla, es un conjunto de elementos relacionados entre sí (Von Bertalanffy, 1976, p. 56). En una visión más profunda, un sistema es un conjunto de dos o más elementos que satisface las siguientes condiciones (Ackoff, 1997, p. 418):

- Las propiedades o el comportamiento de cada elemento del conjunto tienen un efecto sobre las propiedades o el comportamiento del conjunto tomado como un todo. Por lo tanto, ninguna parte tiene un efecto independiente sobre el conjunto, y cada uno está afectado por, al menos, otra.
- Cada posible subgrupo de elementos del conjunto tiene las dos primeras propiedades, cada uno tiene un efecto no-independiente en el conjunto. Por lo tanto, el conjunto no se puede descomponer en subconjuntos independientes. Un sistema no puede ser subdividido en subsistemas independientes.

Los sistemas complejos, entre los que cabe incluir al Sistema vial, pueden ser estudiados desde muchos puntos de vista diferentes que deberían ser visto como complementarios más que como competitivos o excluyentes (Skyttner, 2005, p. 44).

Evidentemente, la circulación de vehículos de motor y más concretamente el tráfico en las vías interurbanas o en las calles de una ciudad se puede considerar un sistema de acuerdo con la definición anterior. Por lo tanto se puede utilizar un procedimiento que construya modelos del sistema complejo, por ejemplo el sistema vial, y representarlo y analizarlo a través de un sistema general.

## **5.1 Modelo de Blumenthal**

Dentro del sistema vial, si la vía es el escenario y el vehículo es el medio tecnológico para utilizarla, el hombre, ya sea como conductor, como ocupante, usuario o peatón, es el protagonista, y de su comportamiento depende, en definitiva, la seguridad vial. La seguridad vial es un problema sociotecnológico (Blumenthal, 1967, p. 1).

Si se considera que una parte importante de la tarea de la conducción consiste en tomar decisiones de manera continuada, el comportamiento del conductor será el resultado de su personal evaluación de las consecuencias probables y posibles de sus acciones, tanto favorables como desfavorables, y, por lo tanto, del posible beneficio o perjuicio que de ellas pueda derivarse.

El sistema vial, –el conductor y su vehículo, la vía con su entorno, los otros usuarios–, plantea al conductor una serie de exigencias diversas y cambiantes, y éste para hacerles frente debe adaptar constantemente su capacidad de percepción, evaluación y actuación. A la vez el sistema vial no es constante sino dinámico, con lo que el nivel de exigencias que el diseño de la vía, de las circunstancias meteorológicas, o el nivel de saturación del tráfico, plantea al conductor y a los usuarios son también

variables. Si por cualquier motivo esa capacidad resulta inferior o queda por debajo del nivel de exigencia, en ese mismo punto sobreviene el siniestro vial (Blumenthal, 1967, p. 3).

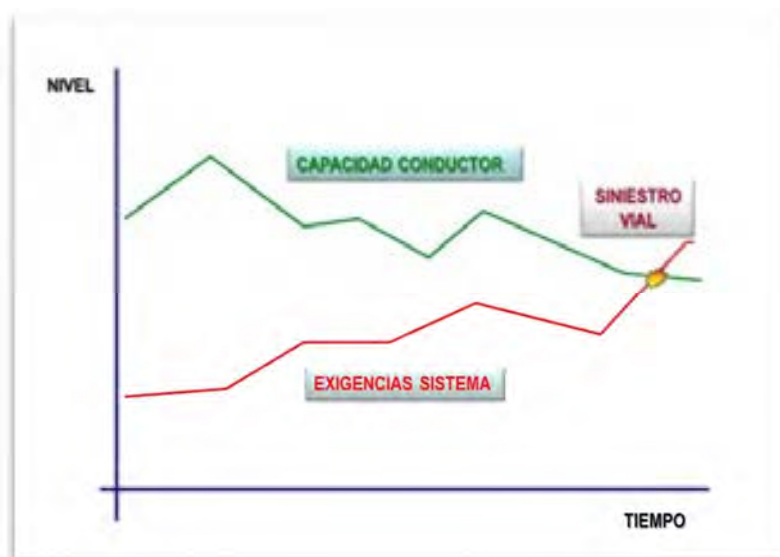


Figura 17: Gráfica de Blumenthal sobre la hipotética localización del fallo en el sistema vial

En el gráfico del sistema vial arriba expuesto se puede observar que el conductor puede intervenir de dos maneras (Borrell Vives, 1993, p. 68):

- Controlando en cada momento su propia actuación de acuerdo con su capacidad y experiencia.
- Determinando, en parte, las exigencias que le presenta el sistema.

De esta forma, el grado de dificultad en la conducción está, en gran medida, bajo su propio control ya que, por ejemplo, conduciendo más despacio puede reducir el grado de celeridad de la secuencia, de las sucesivas situaciones que requieran su atención, y que le exijan la adopción y ejecución de decisiones. Esta es la razón por la que existe un consenso generalizado de que los factores humanos juegan el papel predominante en el desencadenamiento y el proceso que conduce a un siniestro vial.

## 5.2 Método de Análisis del Error y la Adaptabilidad del Conductor (DREAM)

El Método de Análisis del Error y la Adaptabilidad del Conductor (*Driver Reliability and Error Analysis Method, DREAM*) fue expresado por primera vez en idioma sueco por Ljung, aunque basado en otro método más general formulado por Hollnagel en 1998 (Sagberg, 2007, p. 3), y se utilizó por primera vez en el marco Proyecto FICA (Factores de Influencia en las Causas de los Accidentes) de la Administración Sueca de Carreteras para el análisis de las causas de los siniestros viales.

Los tres elementos principales de DREAM son un modelo de siniestro, un sistema de clasificación y un método (Warner, et al., 2008, p. 6; Ljung Aust, et al., 2012, p. 4).

– *El modelo de siniestro*

El modelo de siniestro que se utiliza en DREAM considera que la conducción es una tarea de control con múltiples niveles que implica una continua adaptación a un medioambiente cambiante de tal forma que se persigue el cumplimiento de los objetivos propuestos. La mayor parte del tiempo, este proceso de adaptación culmina con éxito. El conductor comprende cuales son los márgenes de seguridad reales, y también es capaz de anticipar con éxito todos los eventos que pudieran interferir en ese margen de seguridad, y puede adaptar sus objetivos adecuadamente (Ljung Aust, et al., 2012, p. 1).

El modelo de siniestro utiliza la triada Humano-Tecnología-Organización (HTO, Human-Technology-Organization) como referencia, que en el caso del sistema vial serían el conductor (humano), el vehículo y el medioambiente de tráfico (tecnología) y la organización (normativa, sistema de evaluación, vigilancia y control). El Modelo Contextual de Control (*Contextual Control Model, COCOM*) se utiliza para organizar las categorías relativas a la observación, interpretación y planificación relacionadas con la interrelación del conductor con el resto de los elementos dentro de la triada conductor-vehículo/medioambiente de tráfico-organización. Fue ampliado en el Modelo de Control Extendido (*Extended Control Model, ECOM*), reconociendo que el control incluye el trabajo para conseguir múltiples objetivos en paralelo en diferentes escalas de tiempo, por lo que en la realidad se ejecutan simultáneamente un gran número de procesos de control en paralelo (Warner, et al., 2008, p. 6).

Este modelo del siniestro se puede representar de la forma siguiente (Warner, et al., 2008, p. 6):

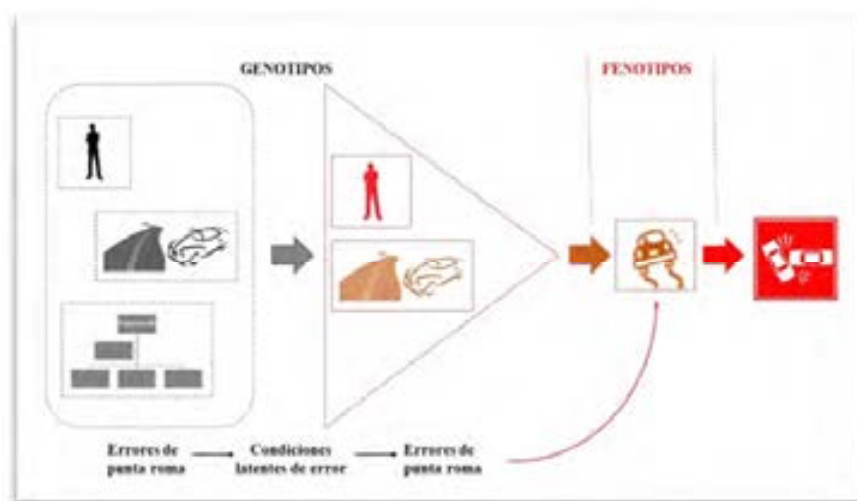


Figura 18: Errores de punta roma y punta aguda

El esquema arriba expuesto muestra que en este modelo los siniestros viales son concebidos como el resultado de una relación fallida entre el conductor, el vehículo y el entorno del tráfico, pero sin olvidar que la organización es responsable porque determina las condiciones en las cuales tiene lugar la actividad de conducir vehículos. Los fallos en final agudo así como los de final roma deben ser tenidos en consideración en el análisis. Los primeros ocurren en un lapso de tiempo relativamente próximo al siniestro vial, por ejemplo el conductor falla en percibir un semáforo en fase roja lo cual

contribuye a que colisione con otro vehículo, mientras que los segundos ocurren con anterioridad y en escenarios diferentes al del propio siniestro, por ejemplo un deficiente mantenimiento de los frenos que producen un fallo mecánico que impide alcanzar la fuerza de frenado adecuada y que contribuye a que el vehículo colisione con otro.

#### – Esquema de clasificación

El Sistema de clasificación en DREAM 3.2 se compone de cuatro elementos diferente: fenotipos o eventos críticos, que son los efectos observables; genotipos, que son los factores que pueden haber contribuido a los efectos observables, los nexos entre los fenotipos y los genotipos, así como entre los diferentes genotipos y, finalmente, unas reglas de parada del propio método (Ljung Aust, et al., 2012, p. 6) .

El esquema de clasificación de DREAM comprende un número de efectos observables en forma de acciones humanas y eventos del sistema llamados fenotipos. En consonancia con esto tienen en cuenta los posibles factores contribuyentes, denominados genotipos, que puedan haber causado estos efectos observables. Los genotipos se organizan de acuerdo con la triada Humano-Tecnología-Organización mencionada anteriormente. La categoría de conductor consta de genotipos relacionados con los posibles problemas de las funciones cognitivas, tales como la observación, la interpretación y la planificación, de acuerdo con el modelo COCOM (Warner, et al., 2008, p. 7).

#### – El Método

Cuando se lleva a cabo el análisis de DREAM el primer paso es siempre elegir un fenotipo, que es el primer efecto observable durante la fase de discontinuidad. El propósito de los fenotipos es clasificar los efectos observables dentro de un relativamente limitado conjunto de categorías a partir de las cuales el análisis real puede comenzar.

En DREAM 3.2, hay seis fenotipos generales que están todos vinculados a uno o más fenotipos específicos. La diferencia entre los fenotipos generales y específicos es el grado de información porque los fenotipos específicos describen más efectos específicos que los generales. Si el investigador tiene suficiente información sobre el siniestro vial, se debería elegir un fenotipo específico. Los fenotipos y los fenotipos específicos se presentan en la Tabla 8 (Ljung Aust, et al., 2012, p. 8).

*Tabla 8: Fenotipos y fenotipos específicos de DREAM 3.2*

FENOTIPOS	FENOTIPOS ESPECÍFICOS
<b>Sincronización</b>	Acción prematura; Acción tardía; sin Acción
<b>Velocidad</b>	Velocidad excesiva; Velocidad demasiado baja
<b>Distancia</b>	Distancia corta
<b>Dirección</b>	Dirección equivocada
<b>Fuerza</b>	Fuerza excesiva; Fuerza insuficiente
<b>Objeto</b>	Objeto adyacente



Los genotipos son factores que pueden haber contribuido a los fenotipos, o sea a los efectos observables. Los genotipos, generalmente, no pueden ser observados y, por lo tanto, tienen que ser deducidos de las fuentes de prueba disponibles, por ejemplo las entrevistas con los conductores y otros datos disponibles en el marco de la investigación. En DREAM 3.2, hay 50 genotipos, algunos de los cuales están vinculados a uno o más genotipos específicos. Al igual que con los fenotipos, la diferencia entre los genotipos generales y específicos es el grado de detalle de la información disponible, donde los genotipos específicos describen más factores específicos que los generales. Si el investigador tiene suficiente información sobre el siniestro vial se debería poder elegir un genotipo específico.

Los genotipos están organizados de acuerdo con la triada: factor humano, la tecnología y la organización. Cada una de estas categorías incluye los genotipos listado en la Tabla 9 (Ljung Aust, et al., 2012, p. 9).

Tabla 9: Genotipos relativos al factor humano, la tecnología y la organización

GENOTIPOS		
HUMANO Conductor	TECNOLOGÍA Vehículo y medioambiente de tráfico	ORGANIZACIÓN Organización
Observación	<b>VEHÍCULO</b>	Organización
Observación perdida	Problemas Temporales HMI	Presión del tiempo
Observación retrasada	Problemas temporales de iluminación	Horas de trabajo irregular
Observación falsa	Problemas temporales de ruido	Inadecuada formación
Interpretación	Obstrucciones temporales de señales	Actividad física pesada antes de conducir
Malinterpretación de la situación	Limitaciones temporales de acceso	
Malinterpretación del intervalo de tiempo	Información incorrecta ITS	Mantenimiento
Planificación	Problemas permanentes HMI	Inadecuado mantenimiento del vehículo
Error en la prioridad	Problemas de iluminación permanente	
Factores personales temporales	Problemas permanentes de sonido	Inadecuado mantenimiento de la vía
Miedo	Obstrucción permanente de señales	Diseño del vehículo
Falta de atención	Fallo del equipo del vehículo	Inadecuado diseño del entorno del conductor
Fatiga	Fallo de equipamiento	
Bajo la influencia de sustancias	<b>ENTORNO DE LA VÍA</b>	Inadecuado diseño de los instrumentos de comunicación
Búsqueda nerviosa	Condiciones meteorológicas	
Incapacidad funcional repentina	Visibilidad reducida	Construcción inadecuada de las partes del vehículo y/o de sus estructuras
Tensión psicológica	Fuertes vientos laterales	
Factores personales permanentes	Obstrucción visual debida a objetos	Características impredecibles del sistema
Discapacidad funcional permanente	Obstrucción visual temporal	Diseño de la vía
	Obstrucción visual permanente	Diseño inadecuado de información
Expectativa de ciertos comportamientos	Estado de la vía	Diseño inadecuado de la vía
	Guiado insuficiente	
Expectativa de un entorno estable de la vía	Rozamiento insuficiente	
	Degradación de la superficie de la vía	
Reglas y recomendaciones habituales restrictivas	Objetos en la vía	
	Geometría inadecuada de la vía	
Sobreestimación de habilidades	Comunicación	
Habilidades/conocimientos insuficientes	Transmisión inadecuada de otros usuarios de la vía	
	Transmisión inadecuada del entorno de la vía	

Además los fenotipos y los genotipos mencionados arriba, el esquema de clasificación en DREAM incluye los nexos entre ambos y entre los diferentes genotipos. El esquema de clasificación DREAM es no jerárquico, lo que significa que los genotipos no tienen preferencia sobre otros, y no hay mayores o menores niveles donde un análisis debe finalizar. Además, para evitar paradas aleatorias o subjetivamente determinadas del ciclo de análisis, es necesario tener reglas de parada.

Por regla general, los genotipos genéricos tienen el estatuto de eventos no terminales. Si un genotipo genérico es la causa más probable de un consecuente genérico, se debe elegir esa causa y seguir con el análisis hasta que se alcance una de las tres reglas de parada que a continuación se exponen (Warner, et al., 2008, p. 15).

Las reglas de parada son las siguientes (Ljung Aust, et al., 2012, p. 10):

- Los Genotipos específicos tienen la categoría de eventos terminales. Por lo tanto, si un genotipo específico es la causa más probable de un consecuente general, ese genotipo es elegido y el análisis se detiene.
- Si no existe ningún genotipo de carácter general o específico que enlace con el consecuente elegido, el análisis se detiene.
- Si ninguno de los genotipos específicos o generales disponibles para el consecuente elegido es pertinente, dada la información disponible sobre el siniestro vial, el análisis se detiene.

Aquí, acabaría el análisis del siniestro vial de acuerdo con el método DREAM obteniendo los genotipos y los fenotipos que se traducirán en las causas del mismo.

### **5.3 Sistema de Causas del Siniestro Vial (SNACS)**

En el Proyecto de Cooperación Europeo de Seguridad Vial denominado Safety Net, desarrollado entre 2004 y 2008 con el apoyo de la Unión Europea, se decidió utilizar el método DREAM 2.1 para lo cual Ljung lo tradujo al inglés y lo modificó para adaptarlo al sistema vial de los países participantes y al principal objetivo del proyecto que era el análisis de seguridad vial. Esta versión adaptada se llamó Sistema de Causas del Accidente SafetyNet SNACS 1.1 (*SafetyNet Accident Causation System, SNAC*) y utiliza el mismo método, el mismo modelo de siniestro vial, pero se han alterado algunos genotipos individuales en la estructura principal del sistema de clasificación de DREAM 2.1 (Fagerlind, et al., 2008, p. 2).

Una evolución posterior denominada DREAM 3.0, fue aplicada en 997 investigaciones sobre siniestros viales en seis países con el objetivo de valorar su aplicabilidad real (Thomas, et al., 2013, p. 18). Posteriormente, el método DREAM 3.0 y SNACS han sido aplicados en otros estudios de siniestralidad vial en Europa (del Pozo de Dios, et al., 2013, p. 5).

El proyecto europeo SNACS afirma que existe un consenso generalizado sobre la importancia de los eventos críticos en el análisis causal. Se utiliza la siguiente tabla para describir y codificar el evento crítico en un siniestro vial (Paulsson, 2005, p. Ap C).



Tabla 10: Modelo SNACS glosario de términos y ejemplos

EVENTO CRÍTICO	EVENTO CRÍTICO ESPECÍFICO		EJEMPLOS
Sincronización La regulación del tiempo para que las acciones ocurran	(A1)	<b>Acción prematura</b> La acción comienza demasiado pronto, antes de que se dé una señal o antes de que se hayan establecido las condiciones	(A1.1) Ejecutar un adelantamiento antes de que haya buena visibilidad. Salir o parar demasiado pronto en un semáforo Retraer las luces demasiado pronto conduciendo en la oscuridad
		<b>Acción tardía</b> La acción comienza demasiado tarde	(A1.2) No cambiar de carril a tiempo Comenzar un adelantamiento demasiado tarde Retraer las luces demasiado tarde conduciendo en la oscuridad
		<b>Sin acción</b> No se realiza ninguna acción de todas las que se requerirían en un determinado momento.	(A1.3) No parar en un semáforo en rojo. El conductor no cambia de carril No se encienden las luces.
Duración La continuidad o persistencia en el tiempo de una acción	(A2)	<b>Acción/movimiento prolongado</b> una maniobra que continua más allá del punto en el que debería haber terminado	(A2.1) Permanecer en el carril izquierdo demasiado tiempo después de haber ejecutado un adelantamiento
		<b>Acción/movimiento acortado</b> la maniobra se interrumpe o acorta	(A2.2) Volver al carril izquierdo demasiado pronto después de haber ejecutado un adelantamiento No frenar completamente en una señal de detención obligatoria
Fuerza/potencia La capacidad para ejecutar una acción	(A3)	<b>Fuerza insuficiente</b> Habilidad insuficiente (pej. fuerza, potencia,) para frenar/acelerar. Potencia de motor insuficiente.	(A3.1) Los frenos no son suficientemente eficientes. La capacidad de aceleración no es suficiente para ejecutar un adelantamiento seguro.
		<b>Fuerza excesiva</b> Aceleración/frenada demasiado brusca. Potencia de motor excesiva.	(A3.2) La aceleración es tan grande que se pierde fácilmente el control sobre el vehículo. El estado de los frenos es tan bueno que el vehículo para tan bruscamente que el vehículo que circula detrás colisiona en su parte trasera
Distancia La cantidad de espacio entre objetos o sitios	(A4)	<b>Distancia prolongada</b> El movimiento se lleva demasiado lejos, el vehículo está demasiado lejos del objeto, del destino o de la posición deseada.	(A4.1) Aparcar demasiado lejos del bordillo
		<b>Distancia acortada</b> El movimiento no se lleva lo suficientemente lejos, el vehículo está demasiado cerca del objeto o de la posición deseada.	(A4.2) El conductor está demasiado cerca de otros objetos del sistema vial, por ejemplo en vehículo que le precede. El conductor cruza las líneas de detención o las de separación de carriles. Aparcar encima del bordillo.
Velocidad Proporción de movimiento	(A5)	<b>Velocidad inadecuada</b> acción/maniobra ejecutada muy deprisa o con excesiva velocidad o finalizada demasiado pronto	(A5.1) Exceder los límites máximos de velocidad. Derrapar en curva.
		<b>Velocidad insuficiente</b> acción/maniobra ejecutada muy lento o con velocidad insuficiente	(A5.2) Mantener una velocidad insuficiente cuando se adelanta a otro vehículo y tener que abortar la acción.
Dirección la trayectoria seguida por el vehículo	(A6)	<b>Dirección incorrecta</b> maniobras realizadas en la dirección equivocada	(A6.1) Girar a la derecha en lugar de a la izquierda. Ir marcha atrás en lugar de ir hacia delante. Salirse de la vía en lugar de seguir en el carril.
Objeto Un artículo o un actor	(A7)	<b>Objeto adyacente</b> Un objeto que se encuentra en la proximidad física a otro elemento que debería haberse utilizado	(A7.1) El conductor pisa el pedal del freno en lugar que el del acelerador. El conductor pulsa el botón del aire acondicionado en lugar de la radio
		<b>Objeto similar</b> Un objeto que es similar en apariencia a otro elemento que debería haberse utilizado	(A7.2) Activar las luces en lugar del limpiacristales
Secuencia El orden en que los eventos ocurren desde el punto de vista del cuándo y del cómo	(A8)	<b>Acción omitida</b> Una o más acciones de una serie de ellas son omitidas	(A8.1) Cambiar de carril sin comprobar el retrovisor o sin tener en cuenta el ángulo muerto
		<b>Acción repetida</b> Se repite la acción previa	(A8.2) Mirar los vehículos que circulan detrás varias veces antes de cambiar de carril
		<b>Acción invertida</b> El orden de dos acciones próximas es revertido	(A8.3) Cambiar de carril y después poner el intermitente. Girar y poner el intermitente
		<b>Acción extraña</b> Se lleva a cabo una acción extraña o irrelevante	(A8.4) Frenar cuando no es necesario

Como crítica puede añadirse que algunos de estos términos, por ejemplo, velocidad, no debería ser considerado como un evento, si se aplica adecuadamente el concepto expuesto anteriormente. La velocidad es un parámetro o variable de fase de algún subsistema o una condición de ese subsistema, pero no es un evento. Es difícil de codificar los eventos críticos de siniestros viales en forma teórica coherente con el marco conceptual de un modelo específico.

Luego, básicamente el modelo europeo SNACS 1.1 coincide con el modelo anteriormente expuesto por lo que los conceptos no van a ser innecesariamente reiterados.

#### **5.4 Modelo de causas basadas en factores**

El Proyecto TRACE (*TRaffic Accident Causation in Europe, TRACE*) fue llevado a cabo en Europa entre 2006 y 2008 para profundizar en la etiología de los siniestros viales y la evaluación de los beneficios en seguridad que pueden aportar las prometedoras soluciones basadas en la tecnología (Page, et al., 2009). La clasificación como sistémico del modelo del Proyecto TRACE se realiza de acuerdo con lo afirmado en su propia fundamentación teórica (Van Elslande & Fouquet, 2007, p. 10).

El modelo de causas del siniestro vial basado en factores intenta combinar la teoría de una cadena causal en el tiempo con el conjunto de grupos de factores y con el papel que juegan en el proceso de causación de los hechos (Schick, 2009, p. 78). De la lectura de los trabajos y por la procedencia de los principales autores de este proyecto se observan muchas influencias del modelo y método del INRETS que ha sido expuesto anteriormente.

Esta influencia es visible porque en este modelo, los eventos son definidos como equivalentes a las fases de conducción, ruptura y emergencia, que tienen como resultado final el siniestro vial (Schick, 2009, p. 18). Es evidente que esta visión no es acertada porque una fase, concepto claramente relacionado con el tiempo, no se corresponde con la definición usual de lo que es un evento.

Los fallos humanos son explicados por los factores que caracterizan el estado del sistema, por ejemplo los defectos de los componentes y de sus interacciones. Estos factores son considerados, entonces, como elementos que explican la falta de capacidad de los usuarios de la vía para adaptarse a la situación en marcha. Se ha compilado un conjunto de todos los elementos que contribuyen a los fallos humanos y se ha diferenciado aquellos factores pertenecientes a la parte humana del sistema, de aquellos que vienen del diseño, de la interacción con el tráfico y del vehículo (Van Elslande, et al., 2008, p. 5). De facto, realiza una síntesis de todos los eventos críticos, causas y factores utilizados a nivel policial y de bases de datos en profundidad en Europa. Esta metodología, que podría denominarse de aluvión, permite ver la disparidad de conceptos y denominaciones de cada conjunto de investigadores, pero también sirve para vislumbrar un sustrato común en la causalidad de los siniestros viales en Europa.

Este modelo es bastante ecléctico y asume muchos conceptos de los modelos anteriores. Está basado en las ideas de causa próxima y factores latentes lejanos, que no se limita al componente humano, debido a la visión sistémica que entra en el modelo



a través de los fallos latentes de Reason y la idea de la existencia de componentes estáticos y dinámicos dentro del sistema.

### **5.5 Aportaciones de los modelos sistémicos a MOSES**

Los modelos sistémicos aportan a MOSES una parte importante de su marco conceptual, pero le prestan algo mucho más valioso, su visión del sistema de tráfico vial:

- El siniestro vial es visto como un malfuncionamiento del sistema de tráfico vial que desemboca en lesiones y daños.
- El concepto de homeostasis, desde la perspectiva sistémica, cobra en estos modelos una especial relevancia.
- Las causas del siniestro vial, lejos de estar basada en una causa principal, deben entenderse como un entramado en cada uno de los subsistemas que componen el sistema.
- Las causas remotas, o de otra forma, las causas que motivan las causas deben ser objeto de investigación si se quiere que la adopción de medidas preventivas sea efectiva y eficiente.
- Las condiciones, en estos modelos denominados como factores o como fenotipos, a pesar de ser múltiples o numerosas pueden ser clasificadas. Las clasificaciones, sean en DREAM, SNACS o en TRACE no son definitivas y es necesario diseñar un modelo científico para su definición.

## **III. BASES CONCEPTUALES DE MOSES**

Cuando se afronta una revisión de la literatura sobre las teorías que intentan explicar este tipo de fenómenos y los modelos que de ellas se derivan se observa que, en esta materia, existe una pequeña literatura directamente aplicable al modelo sobre el siniestro vial (Baker & Fricke, 1986; Lechner, et al., 1986; Borrel Vives, et al., 1991; Lopez-Muñiz Goñi, 1995; Brenac, 1997) y una literatura mucho más amplia sobre enfoques particulares de este fenómeno, por ejemplo el psicológico (Meliá, et al., 1998b) o sobre teorías y modelos sobre los siniestros, en general, entendidos como catástrofes humanas, como por ejemplo los aplicados en la ingeniería industrial o en la aviación civil (Qureshi, 2008, p. 1; Lees, 1996b, pp. 26-2).

El principal problema de cada una de esas teorías y su modelo o modelos correspondientes se halla en su renuncia a entender el siniestro vial como el resultado de un conjunto de acciones humanas, reguladas a través de normas jurídicas de comportamiento, enmarcadas en un sistema complejo en el que interactúan personas y vehículos sobre una determinada vía. Unos modelos apuestan por una perspectiva psicológica de comprensión de las acciones u omisiones de las personas implicadas en el siniestro, —el conductor, el peatón o el usuario—, pero olvidando el componente físico-dinámico del mismo, otros en cambio desde la ingeniería o la criminalística pretender

reconstruir el siniestro con magníficos y complejos modelos físico-matemáticos, pero dejando de lado completamente al ser humano en su análisis.

Por estos motivos se ha considerado necesario realizar un esfuerzo de integración teórica que aúne la visión y los principales conceptos de los modelos secuenciales de eventos, los sistémicos y los centrados en el factor humano, adaptándose a la realidad y a las posibilidades actuales de la investigación del fenómeno

En este trabajo se expone un Modelo Secuencial de Eventos del Siniestro vial, denominado por su acrónimo MOSES, que intenta aglutinar, en un solo análisis secuencial, las acciones y las condiciones que han generado la ocurrencia y correlación de eventos que han desembocado en un impacto entre dos cuerpos, al menos uno de ellos un vehículo, con consecuencias lesivas para las personas y dañinas para las cosas. Se trata de una aproximación multidisciplinar a la materia, pero no de una forma meramente superpuesta, sino de una forma integrada para conseguir de forma científica responder a la pregunta sobre cómo y por qué sucedieron los hechos. MOSES pretende ser una herramienta rigurosa, pero a la vez flexible y versátil que se adapte a la mentalidad y el pensamiento de cualquiera que tenga que analizar un siniestro vial, independientemente de los motivos que lo lleven a ello. Tiene que ser el lenguaje común que falta en materia de siniestralidad vial.

Un modelo es un sistema abstracto en el que los elementos que interactúan son conceptos, igualmente abstractos, y las relaciones entre ellos están formalizadas. Desde un punto de vista sistémico, un modelo es una convención, una manera de hablar sobre alguna materia o sector del conocimiento de una manera que sea comprensible y útil en una comunidad de observadores (Espejo & Harnden, 1989, p. 446). Un modelo no es una descripción de la realidad, pero es un marco generalmente aceptado tanto por un grupo de investigadores como en la propia sociedad para hacer frente a la realidad.

Todos los modelos secuenciales parten de una misma premisa: el siniestro vial, a pesar de su rapidez, no se produce de manera instantánea, sino que sufre una evolución secuencial que se desarrolla en el tiempo y en el espacio mediante una serie de eventos que se van desarrollando ordenadamente hasta llegar a producir un resultado final lesivo para las personas o dañino para sus bienes (Fricke & Baker, 1990, pp. 52-4). Este tipo de modelos permite tener en cuenta la importancia de la evolución espacio-temporal y las interacciones entre los implicados en el devenir del siniestro (Brenac, 1997, p. 10).

No se puede olvidar que todo modelo, incluso los más complejos y avanzados, son simplificaciones del mundo real. MOSES al pretender explicar la dinámica del sistema vial en su punto de inflexión, que es el siniestro, no puede sustraerse a ese necesario proceso de conceptualización. MOSES deberá, en primer lugar, facilitar un marco común conceptual compuesto por un conjunto de conceptos, definiciones y principios, con los que se pueda abordar ciertos problemas e, incluso, algunos de ellos llegar a ser resueltos.

## **1. EL SISTEMA DE TRÁFICO VIAL**

Un sistema socio-tecnológico es una comunidad de individuos interdependientes que interactúan con el resto y con los objetos tecnológicos que eligen y utilizan, para alcanzar unos objetivos colectivos bajo las restricciones de la cultura, la legislación, la

normativa y los factores económicos que constituyen el medio ambiente externo de la comunidad (Hale, et al., 1997, p. 42).

El sistema del tráfico de vehículos de motor por las vías de uso público es un sistema dinámico, terriblemente dinámico podría añadirse, compuesto por una serie de elementos que lo conforman y lo definen:

- El subsistema humano compuesto por los conductores de los vehículos, los peatones y otros posibles usuarios de las vías.
- El subsistema tecnológico representado, principalmente, por el vehículo de motor.
- El subsistema estructural conformado por la vía, su entorno y las circunstancias en las que se encuentran ambos.
- El subsistema normativo, conformado por la legislación, la reglamentación y los usos y costumbres que disciplinan el comportamiento de los otros tres subsistemas.

Cuando se analiza el sistema vial no tiene sentido analizar individualmente cada uno de estos subsistemas, sino el sistema en su conjunto y las relaciones existentes entre cada subsistema y el resto de ellos. Este sistema puede ser representado gráficamente como un tetraedro donde cada vértice sería uno de los elementos que configuran el sistema de tráfico, tal y como puede verse en la figura abajo inserta:



*Figura 19: Sistema de representación gráfica del sistema vial.*

El sistema vial de tráfico pertenece a la categoría denominada “sistema abierto”, que es uno que continuamente interactúa con su entorno y por lo tanto está conectado correlacionalmente con factores externos a él.

La homeostasis, un nuevo concepto, cobra gran importancia dentro de los sistemas abiertos. Este término, construido a partir de las palabras griegas “homo”, que significa del mismo, y “estasis”, que se puede traducir como constante, era usado para hacer referencia a cualquier proceso que los seres vivos utilizan activamente para adaptarse a los cambios que se hayan podido producir en el sistema, manteniendo en equilibrio bastante estable las condiciones necesarias para la supervivencia.

A partir de esta definición originaria, el concepto de homeostasis ha encontrado aplicaciones útiles en las ciencias sociales. En el campo de la investigación de la siniestralidad vial, el concepto se ha utilizado asociado con el concepto de riesgo. Una de las tesis fundamentales mantiene que cada persona tiene su propio nivel global de riesgo aceptable. Coherentemente con esto cuando una persona experimenta cambios en el nivel de riesgo, en una parte de su vida, tendrá que haber un aumento o descenso en riesgo en otros aspectos de esa vida para que el riesgo global de retorno de ese individuo se mantenga o tienda hacia el equilibrio. El mismo razonamiento se aplica, por extensión, a nivel social en los grandes sistemas humanos como el sistema vial.

La entropía es un concepto que, en la Teoría General de Sistemas, está ligado al desorden aleatorio, la desorganización, o la falta de patrón en un sistema. Un sistema, tal y como han sido definido, tenderá hacia la desorganización o la decadencia cuando se le deja solo, a menos que exista un esfuerzo por mantener ese sistema en un estado estable deseado. En otras palabras, la homeostasis es el proceso de lucha de un sistema contra su propio nivel de entropía.

Desde un punto de vista dinámico, un sistema homeostático conserva su estado estable en un entorno cambiante mediante ajustes internos. En este marco teórico, un siniestro vial es el resultado de la ausencia o de fallo de los mecanismos homeostáticos que ayuden a mantener los niveles de entropía del sistema en valores que pueden ser considerados como condiciones generales de estabilidad, de manera que si esos valores de salida se desvían de los esperados se acaban produciendo lesiones a las personas y daños a sus bienes.

## **2. CONCEPTOS SOBRE EVENTOS**

Todos los modelos secuenciales parten de una misma premisa: el siniestro vial, a pesar de su rapidez, no se produce de manera instantánea, sino que sufre una evolución secuencial que se desarrolla en el tiempo y en el espacio mediante una serie de eventos que se van desarrollando ordenadamente hasta llegar a producir un resultado final lesivo para las personas o dañino para sus bienes. Este tipo de modelos permite tener en cuenta la importancia de la evolución espacio-temporal y las interacciones entre los implicados en el devenir del siniestro.

El método de Secuenciación Multilineal de Eventos (*Multilinear Events Sequencing, MES*), que fue desarrollado a mitad de los años setenta, distingue entre actores, acciones y eventos. Originalmente, los actores podían ser personas, equipos tecnológicos o sustancias. Las acciones son cualquier medida llevada a cabo por un

actor. Finalmente, los eventos son la combinación única de un actor más una acción (Katsakiori, et al., 2008, p. 1008).

## 2.1 Evento

En GST, un evento del sistema es un cambio en uno o más propiedades estructurales del sistema o su entorno a lo largo de un periodo de tiempo de duración específica, es decir, un cambio en el estado estructural del sistema o de su medio ambiente externo.

El modelo MES estableció la definición de evento, que puede ser considerada como clásica, describiéndolo como el resultado de la acción de un solo actor (Benner, 1975a, p. 70). Hoy en día, el evento puede ser consecuencia tanto de las acciones del conductor como de las acciones que realice el subsistema tecnológico montado tanto en el vehículo como en la infraestructura de la vía. Estas cada vez más complejas relaciones entre los subsistemas del tráfico deben ser objeto de una mayor atención, pero sin caer en el error de tender a modelos que por necesidad tengan que ser, a su vez, complejos e indescifrables. El objetivo debe ser conseguir un modelo que explique de forma simple y sencilla las complejas interrelaciones de los elementos del sistema del tráfico que conducen a un siniestro vial.

En otras palabras, el evento es un fenómeno real perceptible por un observador externo consecuencia de la acción de una persona que tiene, a su vez, efectos en el sistema de tráfico vial conformado por los seres humanos, los vehículos, la vía y su entorno dentro de un marco normativo.

A tenor de la anterior definición, es posible distinguir dos tipos principales de eventos, por un lado, los que pueden ser vinculados a acciones humanas y los que son resultado de fenómenos físicos derivados de las propiedades de los cuerpos. Por este motivo, en cualquier modelo del siniestro vial y su posterior metodología de investigación y aplicación es necesario estudiar, por un lado, los fenómenos psicológicos vinculados con los procesos cognitivos que desembocan en los actos humanos y, por otro, las propiedades y leyes de la física que se encuentran implicadas en la producción del evento.

Desde una perspectiva holística, un evento produce que el sistema, o uno de sus elementos o subsistemas, cambien los valores de sus parámetros físicos, -energéticos, dinámicos o cinemáticos-, desde un estado primario a otro estado secundario. Por ejemplo, si un peatón toma la decisión de salir a correr para evitar un vehículo que se acerca peligrosamente, el evento relevante es el inicio de la acción de correr que produce un cambio de sus parámetros biomecánicos, –debido al consumo energía en sus músculos para conseguir energía cinética–, y cinemáticos, – al aplicar mayor fuerza desde sus pies al suelo para conseguir una aceleración que le permita aumentar su velocidad de desplazamiento–.

Los eventos tienen, desde una perspectiva causal, dos propiedades básicas, por un lado, la singularidad irrepetible y, por otro lado, la contingencia práctica (Ricoeur, 2003, p. 171). De la primera característica se deduce que los eventos ocurren solamente una vez, por ese motivo cuando se describe con suficiente detalle, deviene específico y único. De la segunda, se deriva que el evento puede haber sucedido de otra forma, ya

que no existe una necesidad lógica en la ocurrencia de los eventos. Esta última característica está vinculada con la idea de ruptura en el proceso que tiene lugar a lo largo del tiempo.

Para los modelos que consideran los siniestros como el resultado de un proceso, los eventos pueden definirse como las desviaciones en una actividad o en la correcta aplicación de una tecnología que producen una desestabilización del sistema, o de alguna de sus partes, y conduce hacia consecuencias indeseadas o negativas. De hecho, el error puede considerarse como una subcategoría de la noción de evento (Hale, et al., 1997, p. 23). Esta idea del evento como cambio es crucial en el estudio de cualquier tipo de siniestros y, especialmente, en los siniestros viales.

Para las modernas teorías probabilísticas un evento se define a través de los valores que toman las variables del modelo que se encuentran modificadas por el conjunto de valores que toman las variables exógenas a consecuencia de las condiciones reales del sistema. En algunos modelos causales avanzados, las ecuaciones estructurales asociadas con un evento son reemplazadas por declaraciones de trabajo (Davis & Swenson, 2003, p. 200). El concepto de probabilidad puede ser aplicado a MOSES, tanto en la determinación de los parámetros físicos y dinámicos, que configuran el estado del sistema en un momento determinado, como en el análisis del riesgo atribuible a causa del estado de un elemento o subsistema.

En conclusión, el evento se puede definir formalmente, en el marco de MOSES, como el resultado de la acción de un elemento o subsistema dentro del sistema vial que, en determinadas condiciones, produce un cambio de estado total o parcial de dicho sistema.

## **2.2 Acción**

El concepto acción, en principio, solo hace referencia a la consecuencia externa del movimiento de un ser humano realizado de forma voluntaria, pero la tecnología que se está montando en los vehículos y, en algunos casos, en la vía permite en estos momentos extender esta definición a todos los subsistemas que componen el sistema de tráfico. Es posible, a día de hoy, que el sistema ABS junto al de estabilización en curva ejecute acciones que modifiquen el comportamiento, generalmente para mejorarlo, del propio vehículo. En el futuro la tendencia en la seguridad vial, preferentemente en la seguridad activa, será contrarrestar los posibles errores y carencias de habilidades del conductor mediante ayudas a la conducción basadas en la tecnología. En este planteamiento, incluso, la vía podrá interactuar con los vehículos y las personas para avisarles de una posible situación de peligro o, directamente, para evitarlo.

La omisión, entendida como ausencia de acción, está englobada dentro del concepto de acción. Si un conductor ve a un peatón atravesando la calzada, pero tiene una reacción de pánico que le impide reaccionar, la omisión de la acción evasiva se convierte en un evento importante para determinar las causas del siniestro.

El error, según el diccionario de la lengua, es una acción desacertada o un concepto equivocado o un juicio falso. La definición clásica considera que el error humano es el fallo de las acciones planeadas para conseguir su deseado final sin la intervención de algunos eventos indeseables (Reason, 1990, p. 83). El error humano

dentro de la actividad humana puede ser definido como un fallo atribuible al operador que impide que se alcance la meta final normal de aquella actividad y cuyas consecuencias pueden consistir en muerte o lesiones para las personas, daños a los bienes o demoras en el proceso normal de la actividad. Aunque en Psicología, algunos autores entienden que el error puede ser también voluntario, en este trabajo se entiende, como en todas la Ciencias Sociales y Jurídicas que el error debe ser siempre involuntario.

En la Teoría General de Sistemas, por error humano se entiende el comportamiento de una persona que excede el límite de tolerancia de seguridad de un sistema sociotecnológico.

### 2.3 Secuencia de eventos

En los primeros modelos secuenciales, inevitablemente los eventos tenían una relación directa lineal con el siguiente evento de la cadena (Qureshi, 2008, p. 2), que se encontraba expresada en forma de ecuaciones de estado que nos definían el sistema. La evolución de los modelos ha permitido pasar de los lineales, en los que solo existía una línea de eventos que desembocaba en el siniestro (Heinrich, 1931; Toft, et al., 2012, p. 3), a otros modelos multilineales que pueden ser objeto de un análisis interrelacional más fructífero, pero también más complejo (Benner, 1975a, p. 69).

Así, en el modelo de Secuencia Multilineal de Eventos (*Multilinear Events Sequencing, MES*) cada evento correspondiente a la acción de un actor se colocaba en una escala de tiempo que servía para secuenciar el desarrollo del siniestro. Las múltiples cadenas de eventos, correspondientes a los diferentes actores implicados, se sincronizan utilizando la escala de tiempo (Benner, 1975a, p. 70).

Si se piensa en una representación confluyente de las ramas secuenciales en un punto que sería el siniestro vial se pueden alcanzar modelos sumamente complejos y que permiten interrelaciones e interacciones múltiples. El sistema de representación a través de árboles de acciones, de eventos, de errores o de causas permite utilizar el lenguaje lógico y los sistemas algorítmicos de la informática para analizar y exponer el desarrollo de un siniestro vial. En la figura siguiente puede verse un modelo genérico de árbol de eventos y causas que desembocan en un siniestro:

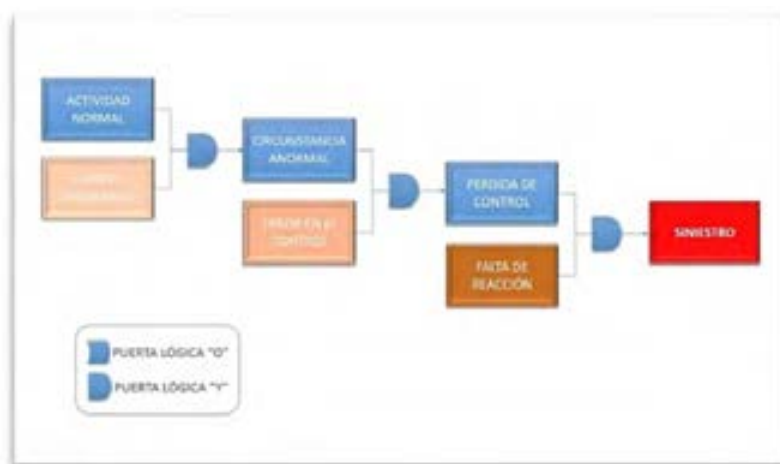


Figura 20: Gráfico explicativo de un modelo genérico de siniestro a través de un árbol de causas

La naturaleza y el alcance de cada evento en una serie secuencial deben ser los adecuados o bien los acontecimientos posteriores no necesariamente llegaran a activarse.

En esta visión multilineal y ramificada, algunos eventos son secuenciales y otros están en vías paralelas que conducen al mismo resultado. MOSES, como modelo de siniestros viales basado en el análisis de eventos, explica su desarrollo como una red sincronizada de eventos, a través del tiempo, formada por múltiples ramas secuenciales, en cada uno de esos eventos cada subsistema realiza una acción externamente observable y presenta una o varias condiciones.

Los modelos de eventos secuenciales han sido criticados por diversas razones (Leveson, 2004, p. 241):

- Utiliza una noción limitada de la causalidad, ya que se enfatizan las relaciones causales lineales, lo cual dificulta enormemente incorporar relaciones causales no lineales, incluyendo los procesos causales de retroalimentación.
- Derivado de lo anterior existe una tendencia al razonamiento lineal y a la falta de complejidad en los análisis llevados a cabo con estos modelos. Por ejemplo, es difícil tener en cuenta factores como la cultura de seguridad, la supervisión o el grado de cumplimiento de las normas que todos los estudios apuntan como cruciales en la ocurrencia de los siniestros.
- La causalidad depende de los eventos considerados en la secuencia y de las condiciones relacionadas con ellos, pero salvo algunos eventos directamente implicados en el siniestro, el resto de eventos dependen de la elección subjetiva del investigador.
- La subjetividad, que puede alcanzar incluso la arbitrariedad, afecta también a la fijación del evento inicial y del evento final. De aquí se infiere que la determinación de las causas remotas se realiza de una forma pragmática e, incluso, que se puede llegar a la incapacidad para determinar ese tipo de causas.

Frente a las críticas anteriores, en MOSES se aplica una nueva perspectiva sistémica a los modelos de eventos secuenciales y se pone el énfasis en el análisis sincronizado de todos los subsistemas en cada momento que se produce un evento, y de esta forma se pueden superar los tradicionales puntos débiles y carencias de esta familia de modelos. En concreto, se puede argumentar lo siguiente frente a las críticas expuestas:

- Es indudable, salvo en teoría físicas muy avanzadas, que el tiempo discurre en un solo sentido, por lo que al investigar de forma retrospectiva la secuencia de eventos la sincronización permite estudiar de forma simultánea el estado del sistema en su conjunto y de cada uno de sus subsistemas.



- La utilización de redes y ramas multilineales de eventos a través del tiempo pueden ser tan complicadas y complejas como otros modelos no lineales que aparentemente lo son más.
- Se introduce un subsistema normativo en el sistema vial para tener en cuenta cómo influyen las normas en las acciones de los seres humanos y cuál es su influencia en cada uno de los siniestros viales que se analizan. Se puede ampliar el modelo, especialmente para tener en cuenta las condiciones organizativas y normativas del sistema vial, mediante la adición de una tercera dimensión en la matriz propuesta, lo que convertiría el modelo en tridimensional en lo que sería un cubo matricialmente dividido.
- La subjetividad desaparece, al menos en los siniestros viales, con la introducción de una teoría cognitiva de la acción humana plenamente aplicable a conductores y usuarios de la vía, que determina una serie de eventos, cuyas condiciones e interrelaciones deben ser analizadas y determinadas. La importancia que se concede al evento crítico y su posible evolución conceptual a través de los estudios tipológicos y escenarios también acotaran de forma considerable la posible subjetividad de los investigadores en la determinación de los eventos.
- Las causas remotas se pueden alcanzar con este modelo porque la profundidad y extensión del análisis no depende de su linealidad.

Los modelos secuenciales de eventos, en una u otra versión, han sido intensamente utilizados a lo largo del tiempo y extensamente utilizados a lo largo del mundo para conseguir explicar las causas del siniestro vial. La experiencia francesa en investigaciones en profundidad de siniestros viales permite afirmar que este tipo de modelos tienen en cuenta la importancia de la evolución espacio-temporal y de las interacciones entre los subsistemas implicados en la producción del siniestro vial (Brenac, 1997, p. 7). De la misma forma en Estados Unidos de Norteamérica, se ha utilizado el concepto de secuencias de eventos en la investigación de siniestros viales, añadiendo la importancia de determinar las interrelaciones entre eventos y condiciones para el análisis de las causas, aunque se reconozca que es una tarea compleja no exenta de dificultades (Fricke & Baker, 1990, pp. 52-4).

Una secuencia de eventos, a efectos de su utilización en MOSES, es un conjunto continuo, aunque no necesariamente lineal, de eventos que comienza con un evento de entrada y acaba con un evento de salida, de tal forma que los parámetros cinemáticos, dinámicos y energéticos de los diferentes subsistemas se van modificando a lo largo del tiempo.

## **2.4 Evento crítico**

Una de las tesis principales que sustentan los modelos de secuenciales es la existencia, en la cadena de eventos, de uno determinado que es el que inicia la secuencia que conduce directamente a que el siniestro se produzca. En los modelos clásicos este evento indeseado o inesperado podía ser considerado como la causa única del siniestro y se pensaba que si se llegaba a identificar ese evento y se lograba suprimir la causa que lo motivaba el siniestro no se repetiría en el futuro.

De acuerdo con el método desarrollado por K. Perchonok, cada siniestro vial tiene asociado una secuencia de eventos que condujeron a él (1972, p. 10). No hay una causa específica en cada siniestro vial, sino que existen varios eventos y factores relacionados que contribuyen a su producción. El evento crítico, en este método, es el último de la secuencia de eventos, después del cual el siniestro vial deviene inminente (Mosedale, et al., 2005, p. 1). Como concepto relacionado con el anterior, se define la razón crítica que describe por qué ocurrió el evento crítico.

En el estudio realizado en Estados Unidos de Norteamérica sobre la causalidad de los siniestros viales en que están implicados vehículos pesados (*Large Truck Crash Causation Study, LTCCS*), el “evento crítico” precolisión es aquel evento fruto de una acción que coloca al vehículo en una trayectoria en la que el impacto es inevitable, dadas unas razonables habilidades de conducción y manejo del vehículo (Thiriez, et al., 2002, p. 38). En otras palabras, es el evento que hizo el siniestro vial inminente o inevitable, coincidiendo con el enfoque de Perchonok. Estos eventos fueron codificados en el estudio LTCCS para cada vehículo junto a las condiciones en que ese evento tuvo lugar. Este estudio, también, utilizó el concepto de razón crítica relacionada con el evento crítico como aquella que de forma inmediata explica por qué ese evento ha sucedido. Aquí la razón crítica era de carácter subjetivo y era determinada por un investigador a cargo utilizando toda la información disponible del caso.

En los modelos sistémicos, el papel del evento crítico es menos importante que en los modelos clásicos y secuenciales. De hecho según la visión sistémica, un evento puede desencadenar el siniestro vial y sus pérdidas asociadas, pero si ese acontecimiento no hubiera ocurrido, otro hubiera tenido ese mismo efecto (Leveson, et al., 2003, p. 21). Como se dijo anteriormente, la estabilidad del sistema es una idea central de la teoría dinámica, es decir, que la respuesta de un sistema a una perturbación tiende a conservar el máximo nivel de equilibrio del sistema con su entorno. Tal y como se ha visto arriba, el concepto de homeostasis es esencial para la comprensión del mecanismo y las causas de los siniestros viales. Como principal conclusión de esa aplicación coherente a este tipo de sucesos puede decirse que los siniestros viales no son un resultado de un solo evento, sino que este fenómeno es un proceso de transformación por el que se interrumpe una actividad homeostática en un punto crítico que puede tener como consecuencia lesiones o daños no intencionales (Benner, 1975b, p. 3).

En MOSES, la búsqueda del evento crítico no tiene como objetivo encontrar la causa única del siniestro, ni tan siquiera la principal, sino comenzar a determinar las interrelaciones entre los elementos implicados a raíz de que se produce ese evento. No hay que confundir el análisis de causas, basado fundamentalmente en datos subjetivos, con la secuenciación de eventos en el siniestro, basado fundamentalmente en datos objetivos (la huella de frenada, los restos de piezas y fluidos en el punto de impacto). Nunca existe una sola causa para que un siniestro vial se produzca sino que este es el resultado de la confluencia de múltiples acciones interrelacionadas en las secuencias de los subsistemas que intervienen en la dinámica del sistema, que en unas determinadas condiciones y en ausencia de control desembocan en la producción del fenómeno dañoso.

El evento crítico puede ser codificado de acuerdo con determinadas reglas, generalmente en el marco de investigaciones en profundidad o en la recogida de información para alimentar bases de datos en profundidad (Thiriez, et al., 2002, pp. 39-40; Mosedale, et al., 2005, p. 2). Posteriormente, esta codificación puede ser utilizada para realizar análisis estadísticos y probabilísticos que relacionen los eventos, las acciones humanas y las condiciones de los subsistemas para conseguir priorizar la intervención preventiva en materia de siniestralidad vial. Existen algunos proyectos europeos donde ya se ha acometido la tarea de codificar los eventos críticos, a veces con otras denominaciones (Paulsson, 2005, p. 30; Warner, et al., 2008, p. 7; Paez Ayuso & Furones Crespo, 2013, p. 200) , pero sin que conste un modelo formal donde encajar el concepto, para determinar en las investigaciones sobre determinadas tipologías de siniestros viales, por ejemplo, la siniestralidad de vehículos pesados, los elementos comunes y los eventos críticos que con mayor habitualidad están presentes en su desarrollo.

En MOSES, el evento crítico es aquel que produce, o debía producir, en los conductores, o personas implicadas en el proceso del siniestro vial, una activación de su nivel de alerta debido al importante aumento del riesgo objetivo de verse abocado a una colisión o a un impacto. En otras palabras, es el evento que desencadena la ejecución de maniobras evasivas tendentes a impedir que el siniestro tenga lugar.

### **3. CONCEPTOS TEMPORALES**

Para analizar la secuencia de eventos en MOSES es necesario introducir una serie de conceptos temporales que nos delimiten el periodo en el cual transcurre el proceso que desemboca en el siniestro vial.

En primer lugar, el estado de un sistema en un momento determinado de tiempo es el conjunto de propiedades relevantes que tiene ese sistema en ese instante.

Tiempo es un concepto que en MOSES presenta diferentes significados. De un lado, es un concepto físico básico para la reconstrucción de los eventos que integran un siniestro vial; de otro lado, es un aspecto importante en la percepción y la reacción de las personas como parte integrante del factor humano y, finalmente, es una forma de ordenar los eventos para formar una o varias secuencias.

#### **3.1 Fase**

El concepto de fase ha sido utilizado tanto por el enfoque epidemiológico del siniestro vial (Haddon, 1968, p. 1436), como por los modelos secuenciales y sus métodos de investigación asociados (Borrel Vives, et al., 1991), pero mientras aquel diferenciaba tres fases distintas alrededor de una colisión, –preimpacto, impacto y postimpacto–, en estos últimos dominaba la distribución perceptiva y reactiva del factor humano a lo largo del tiempo, por lo que las fases se denominan como percepción, decisión y conflicto.

El modelo epidemiológico del siniestro vial, tal y como se ha visto, basa su planteamiento en un análisis matricial de los elementos de la circulación, –hombre, vehículo y medioambiente–, a lo largo de una secuencia de fases, que parte desde los momentos previos al impacto, pasando por el impacto en sí mismo considerado y

terminando en el momento en que las personas y vehículos alcanzan su posición final (Runyan, 2003, pp. 60-61). Una fase es una etapa distinta del desarrollo de un fenómeno o de un proceso continuo.

A las tradicionales fases del modelo epidemiológico, en MOSES se le han añadido dos más, la fase de viaje y la fase de previaje, porque tanto una como otra pueden aportar datos e informaciones relevantes para comprender las acciones o establecer las condiciones en los diversos subsistemas. Por ejemplo, si en la fase de previaje no se ha descansado lo suficiente, por padecer apnea o por haber acudido a una discoteca, la fatiga será una condición del factor humano que puede provocar, entre otras cuestiones, un enlentecimiento de la reacción de la persona. La representación matricial de las fases y de los subsistemas considerados se expone a continuación a modo de matriz de Haddon ampliada:

MODELO MOSES		FASES				
		PREVIAJE	VIAJE	PREIMPACTO	IMPACTO	POSTIMPACTO
SUBSISTEMA	HUMANO					
	TECNOLÓGICO					
	ESTRUCTURAL					
	SOCIONORMATIVO					

*Figura 21: Análisis matricial ampliado en el modelo MOSES*

La utilidad de la aplicación, dentro de MOSES, del enfoque epidemiológico ampliado se centra en la posibilidad de realizar un verdadero análisis multidisciplinar que diseccione el siniestro vial con arreglo a un método matricial pero con la suficiente flexibilidad para que se puedan desarrollar ideas innovadoras sin que estén detrás de ellas ninguna visión singular del fenómeno ni ninguna escuela de pensamiento.

Una fase, en el marco definido por MOSES, es el conjunto de posiciones de los vehículos y personas implicadas distribuidas a lo largo del tiempo en que se van desarrollando los eventos y que desembocan en la producción del siniestro y en su posterior devenir hasta que alcanzan su posición final.

### 3.2 Sincronización

La red que forman las múltiples cadenas de eventos, correspondientes a los diferentes actores y subsistemas implicados, se sincronizan utilizando determinados eventos comunes dentro de una escala de tiempo (Benner, 1975a, p. 71).

Esta idea es francamente útil por diferentes motivos: primero, la sincronización de eventos en diferentes ramas del árbol permite establecer relaciones de mayor complejidad entre los diferentes subsistemas; en segundo lugar, se adapta perfectamente para aplicar al modelo secuencial las modernas teorías de sistemas y con la consiguiente posibilidad de realizar simulaciones del modelo en el marco de la dinámica de sistemas y, finalmente, pueden utilizarse las técnicas de análisis de árbol de error o de causas.

En el caso específico de MOSES, la sincronización tiene varias funciones: en primer lugar, servir de guía en la investigación y recolección de datos y evidencias sobre cada uno de los eventos, establecer hitos visibles para el inicio del uso de programas de reconstrucción o para conseguir la reorientación en su aplicación y, finalmente es aplicable a la lógica de las causas del siniestro vial, al servir para estudiar el espacio y el tiempo entre diversas posiciones relevantes, como por ejemplo el análisis del tiempo de reacción de un conductor en función de la situación entre el PPR y el PED.

El análisis sincronizado de acciones y condiciones en cada subsistema en un momento determinado es la mejor manera de poder recomponer la red de eventos que han contribuido a causar el siniestro vial. El orden cronológico es uno de los conceptos clave en el modelo MOSES. Para una mejor comprensión del esquema de los eventos en la matriz, las fases son columnas, de esa manera el tiempo discurre desde la izquierda a la derecha.

#### **4. CONCEPTOS RELATIVOS AL RIESGO**

En el ámbito de la sociología se ha desarrollado un modelo teórico sobre el riesgo presente en la vida cotidiana en torno a lo que se ha venido a denominar como sociedad del riesgo (Beck, 1998, p. 25). No existe una definición de lo que debe entenderse por tal, sino que solamente, se han descrito algunas de sus características esenciales (Mendoza Buergo, 2001, pp. 25-34):

- El cambio de potencial de los peligros actuales en relación con los de otras épocas. Además este cambio afecta también a su naturaleza, frente a los anteriores peligros naturales los actuales se presentan como artificiales. Estos peligros son de grandes dimensiones y de ámbito global.
- La complejidad organizativa de las relaciones de responsabilidad, fruto del considerable incremento de las interconexiones causales y su desconocimiento o las dificultades en su aclaración, junto con la creciente sustitución de escenarios de acción individuales por otros de carácter colectivo.
- Una sensación de inseguridad subjetiva que puede existir independientemente de la presencia de peligros reales.

##### **4.1 Riesgo**

Los modelos psicológicos de explicación del comportamiento humano en la conducción de vehículos enfatizan el aspecto motivacional del concepto de riesgo, compartiendo la idea general de que si se quiere incrementar la eficacia de las medidas preventivas a adoptar, estas medidas, deben tener un carácter motivador, que empuje a todos los implicados en situaciones de tráfico a percibir y asumir menos riesgos. El postulado básico de los modelos cognitivo-motivacionales es que las creencias, expectativas y prejuicios que los individuos tienen respecto a los eventos futuros son un determinante fundamental de su conducta, que se considera por este motivo propositiva, dirigida a metas, y basada en las intenciones conscientes del sujeto. A este concepto de riesgo se le puede calificar como subjetivo.

Frente al riesgo subjetivo presente en cada persona, la ingeniería ha desarrollado el concepto de riesgo objetivo y le ha aplicado una serie de técnicas de análisis estadístico para conseguir, no solo su identificación, sino también su cuantificación.

En el modelo MOSES se pretende tener en cuenta, tanto el riesgo objetivo presente en cada evento como el riesgo subjetivo que ese evento supone para cada una de las personas implicadas y que se puede establecer a través de la declaración del propio conductor o usuario o de los testigos del siniestro.

## **4.2 Peligro**

Por otro lado, se puede diferenciar entre los conceptos de peligro y de riesgo, sobre todo a la hora de precisar su significado en relación a la actividad de conducir en el sistema de transporte terrestre:

- Peligro es la amenaza potencial a las personas y su bienestar, así como a su patrimonio. En el ámbito del tráfico el peligro, directo y principal, es de naturaleza mecánica y proviene de la transmisión de grandes cantidades de energía cinética en el momento del impacto a las personas y a los objetos que se ven afectados por el mismo.
- Riesgo, entendido como consecuencia, es la probabilidad de ocurrencia de un peligro y de realización de la pérdida. El riesgo cuando se conduce un vehículo, se puede definir como la probabilidad de sufrir la muerte o lesiones y daños o pérdidas en los bienes.

Para cualquier usuario de la vía pública, que está en movimiento, el peligro consiste en verse involucrado en cualquier tipo de impacto con otro objeto o persona y resultar muerto o lesionado. Ahora bien el riesgo de sufrir el siniestro no es el mismo para un ciclista que para el conductor de un vehículo pesado, como tampoco lo será el riesgo de resultar muerto o sufrir lesiones graves, en uno u otro caso. El peligro es el mismo, pero el riesgo no es ni parecido.

A veces el peligro no puede ser completamente definido, y lo único que detecta una persona es una situación anómala o un curso de eventos anómalo, entendiendo como tal algo que no encaja con el devenir normal de los hechos.

## **4.3 Barreras**

Adoptar un punto de vista funcional, permite concentrarse en las tareas que son necesarias para controlar de forma adecuada un peligro específico. Estas actividades pueden ser realizadas por estructuras físicas pasivas, como por ejemplo barreras biondas en los laterales de la vía; por los sistemas técnicos activos, como por ejemplo, las ayudas automáticas en los sistemas de frenado de los automóviles; o por los seres humanos, por lo general, en interacción con la tecnología con el soporte de procedimientos de uso, como por ejemplo, el sistema de reglas de giro en intersecciones reguladas por semáforos. De esta forma, si se logra pensar en términos de funciones, se podrá analizar qué medios alternativos servirán para implementar una estrategia directa de reducción de siniestros e indirecta de reducción de lesiones y daños. Por otra parte, se debería tener

en cuenta que las barreras pueden deteriorarse y que esto motiva que deban ser mantenidas y supervisadas de forma continua. Este punto de vista funcional del sistema de barreras es coherente y se adapta bien a las estrategias que Haddon formuló para conseguir una reducción de las lesiones y daños debidos a los siniestros viales.

Esto debería llevar a pensar sobre las relaciones del todo con la parte, y así poder pasar desde un punto de vista funcional a una perspectiva sistémica, por ejemplo, separando, en el espacio o en el tiempo, las posibles víctimas de una energía liberada de forma accidental. El término función de seguridad se utiliza a veces en un sentido similar a la función de barrera.

Después de haber definido una función de barrera es posible identificar los elementos de barrera, es decir, los elementos materiales, los seres humanos, y los procedimientos y rutinas que son necesarios para implementar la función de barrera en las condiciones dadas. Un sistema de barrera está formado por la totalidad de los elementos de barrera que son necesarios y suficientes para implementar esa función de barrera.

El sistema de barrera puede así ser visto como el sustrato o los componentes de la función de barrera. Los sistemas de barrera son sistemas abiertos, ya que no funcionan de forma aislada con respecto a su entorno. La mayoría de dispositivos técnicos se pueden averiar y, por lo tanto, necesitan mantenimiento. Incluso las barreras pasivas pueden fallar debido a la intervención humana.

## **5. CONCEPTOS RELATIVOS AL PROCESO DE TOMA DE DECISIONES**

En los siniestros viales, las acciones humanas y la causalidad física están íntimamente relacionadas, por lo tanto, es el análisis de sus articulaciones lo que supone el núcleo del análisis de eventos y de su causalidad.

Todos los tipos de sistemas se controlan a sí mismos a través de la información de retorno que se produce cuando existe una desviación en la consecución de los objetivos o un error en la iniciación de la acción correctora. Por ejemplo, cuando al realizar alguna actividad en el interior del vehículo se deja de apretar el volante con fuerza y se produce una desviación en la trayectoria que permite continuar en la calzada (objetivo), el sistema de control y alerta del vehículo puede avisar al conductor o bien este darse cuenta que se ha producido esa desviación.

En el proceso del siniestro vial, hay una teoría clásica del sistema de control humano que se denomina Teoría PIEV. De acuerdo con esta teoría, el conductor y todos los usuarios de la vía están sujetos a una serie de estímulos, tanto esperados como inesperados, procedentes de los otros subsistemas del sistema vial y del medioambiente en el que este se encuentra inmerso. El sistema de control humano tiene cuatro estadios secuenciales (Fricke & Baker, 1990, pp. 64-4; Olson, 2002, p. 47):

- Percepción: este proceso permite a los seres humanos recibir los estímulos a través de los órganos de los sentidos, los nervios y el cerebro.
- Intelección: implica la identificación y la comprensión de los estímulos.

- Evaluación: este paso incluye la evaluación de la respuesta apropiada que cualquiera tiene que hacer frente a los estímulos. Esto implica la elección de una maniobra, –frenado, movimiento lateral–, para evitar la colisión.
- Volición: es la ejecución de la decisión y tiene como resultado una acción física del conductor o del usuario de la vía.

En la actualidad, el elemento humano no es el único componente que puede realizar tareas de control en el sistema vial, sino que los módulos de alerta y reacción incorporados a los nuevos vehículos pueden actuar para realizar este tipo de actividad. En un futuro cercano, los elementos del subsistema de infraestructura serán capaces de interactuar tanto con el vehículo como con los seres humanos para este tipo de funciones.

Estos conceptos serán aplicados, a todo tipo de siniestros viales, para establecer una adecuada secuencia de eventos que pueda explicar el desarrollo del siniestro y sirva, por ello, para poder determinar las acciones que lo motivaron en concurrencia con las condiciones que lo hicieron factible.

La aplicación de la Teoría del PIEV a las personas que intervienen en la secuencia de eventos, que componen el desarrollo de un siniestro vial, se realiza teniendo en cuenta, desde un punto de vista psicológico, las siguientes posiciones relevantes:

### **5.1 Posición de Percepción Posible**

La Posición de Percepción Posible (PPP) es el momento y lugar donde el evento crítico, entendido como movimiento o condición inesperada o extraordinaria que aumenta el riesgo de sufrir un siniestro vial, puede haber sido percibido, por primera vez, por una persona normal.

Generalmente ésta posición PPP es objetiva y se podrá estudiar su situación sobre el terreno. Debe determinarse correctamente, ya que servirá de base para valorar la conducta de las personas que intervienen en el siniestro vial.

### **5.2 Posición de Percepción Real**

Se considera como Posición de Percepción real (PPR) al momento y lugar en el cual el conductor o peatón percibió, realmente, por primera vez el peligro o la situación anormal.

El PPR es subjetivo y por tanto difícilmente determinable sin la manifestación del conductor o peatón. Es posible realizar estudios analíticos de reconstrucción de accidentes a partir de una velocidad conocida de forma más o menos precisa, pero en cualquier caso es necesario acudir a presuposiciones y simplificaciones para que el procedimiento de cálculo matemático no sea excesivamente complicado.

### **5.3 Posición de Ejecución de la Decisión**



La Posición de Ejecución de la Decisión (PED) es el momento y lugar en el que el conductor o el peatón reacciona ante el estímulo exterior que le avisa del peligro o la situación anómala, es decir, donde inicia la ejecución de la decisión que ha adoptado, generalmente en forma de maniobra evasiva.

Esta posición es determinable, mediante cálculos físico-dinámicos, cuando existe una evidencia externa de la existencia de maniobra evasiva, por ejemplo una huella de frenada previa al impacto o un cambio de carril.

## **5.4 Posición de No Escape**

Se entiende que la Posición de No Escape (PNE) es aquél momento y lugar en el cual el siniestro resulta inevitable, es decir, el impacto se producirá en un futuro inmediato, independientemente de la voluntad y las acciones de las personas implicadas. Este punto es clave para la determinación de la evitabilidad del siniestro y por lo tanto para establecer, en su caso, las posibles responsabilidades jurídicas derivadas del mismo.

Esta posición se puede determinar en función de la posibilidad de realizar cálculos matemáticos, concretamente distancia recorrida en el tiempo de percepción-reacción (PRT) a una velocidad de circulación específica más la distancia de frenada hasta detener completamente el vehículo.

En MOSES, la Posición de No Escape es un concepto clave que tiene una relación relevante con el Evento Crítico y su principal utilidad se encuentra en que sirve para determinar el grado de responsabilidad jurídica que pudiera tener el conductor por los resultados de su acción.

## **5.5 Posición de Impacto**

Se entiende por Posición de Impacto (POI) a aquel momento y lugar en el que se consuma el siniestro vial y que corresponderá a la posición de máximo efecto. En esta posición se produce el primer contacto entre los vehículos, o entre un vehículo o una persona o un objeto.

Generalmente es fácil de localizar por las huellas y vestigios que se pueden observar en la inspección de la escena de los hechos, aunque en determinadas tipologías, por ejemplo un atropello a peatones, es bastante compleja su fijación. Se parte de la tesis, según la cual en todo siniestro vial existe alguna clase de impacto en la que se ven involucrados al menos dos cuerpos, —vehículos, personas, otros objetos—, y en el cual se produce un traspaso de energía de uno al otro y viceversa.

En los casos de atropellos a peatones y colisiones entre vehículos en los que uno de ellos ha cruzado la línea central la localización del POI es, a menudo, objeto de disputa. Esto es especialmente cierto en los casos de atropellos a peatones, ya que esta tipología de siniestros viales se utiliza el POI para estimar la velocidad del vehículo en el momento del atropello.

## **5.6 Posición Final**

La Posición Final (PF) es aquella que adoptan las personas, vehículos y objetos, cuando llegan a la inmovilidad tras la sucesión de eventos que dan lugar al siniestro vial.

La trayectoria post-impacto del vehículo viene determinada por el camino seguido por el vehículo desde el POI hasta Posición de Reposo (PPR), de acuerdo con las evidencias y huellas dejadas sobre la vía.

### 5.7 Representación gráfica de la situación relativa de las posiciones

La representación clásica para la secuencia ideal de eventos de un siniestro vial para un determinado conductor o usuario puede representarse linealmente, tan solo como primera aproximación al estudio de las diferentes posibilidades, sobre una línea de tiempo:

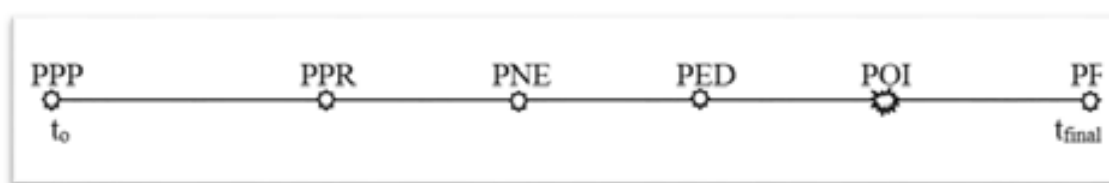


Figura 22: Representación gráfica simple de la secuencia de eventos de un siniestro

El método de representación gráfica elegido, matricial, permite tener en cuenta en uno de sus ejes la escala de tiempo mientras que en el otro se pueden ir introduciendo tantas capas y subcapas de análisis como se consideren necesarias permitiendo de esta forma profundizar en las raíces del siniestro vial. La expansión de esta forma de representar el siniestro vial podría servir para enriquecer su comprensión y para mejorar de esta forma la adopción por los poderes públicos de las medidas necesarias para su prevención.

Buscando una forma de presentar gráficamente los resultados de MOSES se pretende utilizar una representación gráfica matricial en el que un eje representa la distribución temporal de las fases del siniestro y de los eventos que componen cada una de ellas, mientras que las filas de la matriz, denominadas capas y subcapas del modelo, se dedican a la reconstrucción física de cada secuencia de eventos. En cada evento hay que situar las acciones que cada subsistema ha realizado o dejado de realizar y las condiciones en las que se produjeron las referidas acciones para explicar convenientemente la sucesión de eventos. Finalmente, en análisis del riesgo, objetivo y subjetivo, que cada evento ha generado a cada implicado nos permitirá hacernos una idea de los umbrales de riesgo que permiten evitar los siniestros. La verdadera utilidad de este modelo está en el análisis conjunto de las acciones y condiciones de forma coordinada con la secuenciación de eventos para que exista coherencia en las conclusiones que se alcancen sobre las causas del siniestro vial. En la imagen inferior puede verse una representación parcial, para un solo actor, del sistema matricial del modelo MOSES.

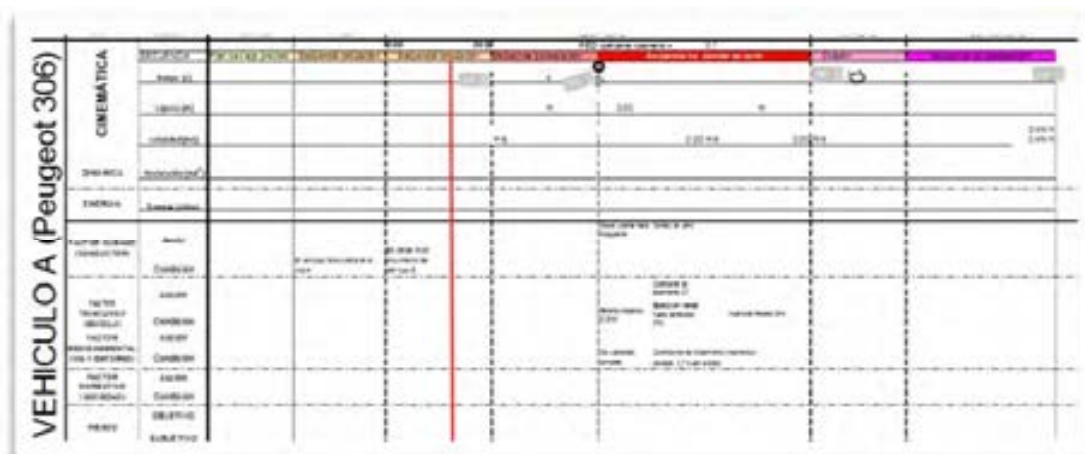


Figura 23: Representación gráfica del Modelo MOSES

Cuando se haya aplicado el procedimiento completo que lleve a considerar terminada la investigación de un siniestro, llevada a cabo de acuerdo con el marco conceptual de MOSES, la forma de resumir los conocimientos adquiridos y poder realizar un análisis de causalidad de forma completa e integral, será la representación gráfica de la secuencia de eventos.

Como forma más sofisticada de mostrar este modelo MOSES puede apuntarse la posibilidad de utilizar programas informáticos de simulación de siniestros viales, –PC-Crash, HVE–, que además de permitir una reconstrucción cinemática automatizada del siniestro, tienen una estructura secuencial de simulación del siniestro que se adapta perfectamente a la estructura de MOSES.

## 6. CONCEPTOS RELATIVOS A LA RECONSTRUCCIÓN FÍSICA

Para analizar la evolución del siniestro es necesario introducir una serie de conceptos espaciotemporales que nos delimiten las diferentes fases en que se ha dividido el siniestro, desde un punto de vista físico-dinámico.

En el espacio, es decir tramo de vía en el que se desarrolla el siniestro vial, existirán áreas en las que se desarrolla el siniestro y, dentro de ellas, determinados puntos. Simultáneamente, el tiempo durante el cual transcurren los hechos, debe ser reconstruido secuencialmente a base de momentos que conforman las diferentes fases del siniestro vial.

Siendo el sistema de tráfico un sistema dinámico, además de complejo, las dos variables que interesa determinar en cada evento que suceda son la velocidad, que relaciona las distancias recorridas con el tiempo invertido en ello, y la aceleración, que nos indica la razón de cambio de la velocidad a lo largo del tiempo. En los vehículos de motor el conductor puede controlar la aceleración e, indirectamente, la velocidad a través del acelerador y el freno, mientras con el primero gana aceleración positiva con el segundo gana aceleración negativa o de frenado. Luego si se determina la secuencia cinemática completa de los vehículos y las personas implicados se puede saber si el conductor accionó, o no, los mandos de su vehículo que le permiten controlar la aceleración o el frenado.

## 6.1 Modelo cinemático elemental

Una reconstrucción dinámica de accidentes de tráfico tiene que aplicar los modelos cinemáticos básicos, la ley de Newton de la mecánica clásica y el principio de conservación de la energía.

Modelo cinemático elemental es un modelo matemático que permite calcular el estado final de un sistema mecánico, caracterizado por sus parámetros cinemáticos, a partir de un estado inicial o primario determinado.

Los conceptos utilizados en la cinemática MOSES, desplazamiento, velocidad, aceleración, son los mismos utilizados en Física newtoniana.

- Un Punto es el lugar del espacio donde podemos situar un evento determinado. La distancia entre dos puntos es igual a la expresión numérica escalar de la longitud del segmento recto que los une. El desplazamiento ( $\vec{r}$ ) es el vector que define la posición de un punto o móvil en relación a un origen O con respecto a una posición A.
- Un Momento es el instante de tiempo (t) donde sucede un determinado evento.
- Una Posición es el lugar del espacio donde se encontraba algo o alguien en un momento determinado o, también, como el conjunto formado por un momento y un punto.
- La Velocidad ( $\vec{v}$ ) es una magnitud física de carácter vectorial que expresa el desplazamiento de un objeto por unidad de tiempo.
- La Aceleración ( $\vec{a}$ ) es la acción y efecto de aumentar la velocidad. El término también permite nombrar a la magnitud vectorial que expresa el incremento de la velocidad en una unidad de tiempo.

La energía, en el modelo MOSES, tiene una doble función: por un lado, se trata de un concepto físico y por otro lado, se trata de un concepto de seguridad y preventivo. Con el primer concepto, los siniestros viales pueden ser reconstruidos a través del Principio de Conservación de la Energía (PCE), sobre todo en las colisiones entre vehículos. En la utilización de la segunda función se pueden analizar los obstáculos y las limitaciones que en cada subsistema permiten evitar los errores humanos o los fallos tecnológicos o, en su caso, paliar sus resultados.

En MOSES un diagrama de movimiento puede estar formada por imaginar una fotografía estroboscópica de un vehículo en movimiento, que muestra varias imágenes del objeto tomado como los destellos de luz estroboscópica a una velocidad constante o en un evento específico en el proceso de choque. Este diagrama de movimiento está integrado en las filas de una matriz donde las columnas son las cinco fases de los accidentes de tráfico.

## 6.2 Secuencia cinemática

Una secuencia cinemática es una entidad espacio-temporal que se distingue de los instantes anteriores y posteriores por la modificación de, al menos, un parámetro cinemático, la mayoría de las veces la aceleración del vehículo implicado.

Se denomina estado primario a cada uno de los extremos de la secuencia cinemática, al cual se asocia un instante del tiempo, una posición y una velocidad. El estado inicial y el final señalan respectivamente el inicio y el fin de la secuencia cinemática y, como es lógico, el estado final de una secuencia es el estado inicial de la secuencia siguiente. Cada estado se encuentra caracterizado por los valores de sus parámetros cinemáticos (tiempo, espacio, velocidad), que en el caso del estado inicial se denominarán valores de entrada y en el del final valores de salida.

Se define como estado secundario o transitorio en una determinada secuencia, a aquel o aquellos en que se produce una modificación de un parámetro cinemático de una determinada secuencia que se corresponde con un estado primario para el otro u otros implicados en el siniestro. Los datos correspondientes a estos estados transitorios se denominan datos transitorios.



Figura 24: Representación gráfica de una secuencia cinemática

En cada secuencia cinemática definida se puede utilizar a su vez un modelo cinemático elemental. Este no es más que un modelo matemático que permite calcular el estado final de un sistema mecánico, caracterizado por sus parámetros cinemáticos, a partir de un estado inicial o primario determinado. Por ejemplo, una maniobra evasiva de frenado se puede definir a través de una secuencia de deceleración en la cual se puede aplicar diferentes modelos que van desde una simple fórmula matemática hasta complejos algoritmos informáticos.

## 7. CONCEPTOS CAUSALES

El análisis de las causas de un siniestro es la actividad que se desarrolla para determinar, a partir de la información disponible, incluidos los resultados de la reconstrucción de los eventos del suceso, porque ha ocurrido el siniestro vial o, expresado de otra forma, la determinación de la completa combinación de circunstancias que ocasionan una quiebra en el sistema vial, en un lugar y momento concreto, a

consecuencia de lo cual se producen uno o varios impactos que producen lesiones a las personas o daños a las cosas.

## 7.1 Causa

Hay una práctica unanimidad en definir causa como todo aquello que se requiere para producir un resultado, o en otras palabras, es un elemento que es necesario y suficiente para producir el resultado.

Baker afirmó que causa de un siniestro vial es una combinación de factores secuenciales y simultáneos que contribuyeron al resultado y sin la falta de cualquiera de ellos este no podría haber ocurrido (1990, pp. 52-4). Desde esta perspectiva clásica, causa es la combinación de eventos simultáneos y secuenciales y sus condiciones asociadas, sin los cuales el resultado no se hubiera alcanzado. Se trata de un concepto que ha sido a menudo relacionado con el método de investigación casuística.

En estas definiciones hay dos ideas implícitas: primero, la eliminación de una causa debe ser suficiente para evitar el resultado y, segundo, la determinación de si una circunstancia es una causa se puede hacer mediante la realización de una prueba de contraste, donde lo que ocurrió se compara idealmente con lo que hubiera pasado si esa circunstancia había estado ausente.

En el campo científico del estudio y la investigación de los siniestros viales desde una perspectiva sistémica se han determinado las siguientes leyes de la causalidad, todas ellas comprobables empíricamente (Elvik, 2005, p. 1):

- La ley de la complejidad. Cuantas mayores unidades de información tiene que atender un usuario de la carretera, mayor es la probabilidad que el siniestro suceda.
- La ley de la capacidad cognitiva. Cuanto más reducida se encuentra la capacidad cognitiva, mayor es la probabilidad de siniestro.
- La ley de los impredecibles. Cuanto más raro es una cierta condición o factor de riesgo mayor influencia tiene como efecto en el porcentaje de siniestros.
- La ley universal del conocimiento. El porcentaje de siniestros por unidad de exposición esta inversamente relacionado a la cantidad de exposición.

Hablar de “causa primaria” no tiene sentido si no se comparte la afirmación según la cual el resultado tiene solamente una causa, entendiendo esta como una combinación de eventos y condiciones simultáneos y secuenciales. Si hay solo una combinación real y posible no hay causas primarias o secundarias.

De la misma forma, se ha llegado a definir el concepto de causas críticas para el evento crítico como las razones inmediatas para que este evento ocurra y de ellas forma parte, frecuentemente, el último error en la cadena causal. En MOSES no se concede mayor importancia a este tipo de causas que a otras presentes, porque es necesario determinar la completa combinación de condiciones y acciones de los diferentes

subsistemas implicados para entender de forma integral la causalidad de este tipo de fenómenos.

Desde el punto de vista sistémico, las explicaciones de los siniestros viales basadas en las habilidades y nivel de ejecución de un operador individual son consideradas inadecuadas para describir el proceso que conduce al impacto, lo cual implica comúnmente un conjunto de causas y condiciones múltiples interactuantes, muchas de las cuales son distantes en el tiempo y en el espacio dentro del sistema socio-técnico de las causas que aparecen como inmediatas en este tipo de fenómenos. De una forma más general, Kletz ha afirmado que la prevención de siniestros viales no solo requiere determinar las causas inmediatas o próximas, sino también evitar los siniestros viales identificando aquellas otras más distantes que crean las condiciones en las cuales se puede desarrollar el proceso que lleva (2001, p. 309).

La causa de un siniestro vial, en MOSES, es toda, acción, omisión, condición o combinación de ellas, sin la cual las secuencias de eventos no se hubieran desarrollado tal y como lo hicieron, ni sus consecuencias hubiesen sido las mismas.

## **7.2 Condición**

En términos generales, la condición se define cualquier circunstancia que contribuye a un resultado y sin la cual el resultado no podría haber ocurrido (Fricke & Baker, 1990, pp. 52-4).

Condición puede ser asimilada al concepto de factor accidentógeno que se define como un estado de un componente del sistema de tráfico, que es necesario pero no suficiente para que el siniestro se produzca, -si se hubiera evitado que este factor estuviera presente, el siniestro no se hubiera llegado a producir-, y sobre el que es posible actuar (Brenac, 1997, p. 23). En otros trabajos también se utiliza el concepto de factor o factores, con diversos apellidos contributivo, explicativo, operativos, de gravedad,..., así por ejemplo, los factores de condición son los factores que reflejan las deficiencias, con respecto a un estado óptimo, de determinados atributos de la vía, el conductor y el vehículo.

Otro concepto que guarda similitudes con el de condición es el de atributo (Fricke & Baker, 1990, pp. 52-11), que no son acciones, -actos-, ni por tanto forman parte del comportamiento, sino que son características que explican el comportamiento o los actos, por ejemplo la adherencia del pavimento sería un atributo de la vía.

En el supuesto de aplicación a los siniestros viales, una condición puede definirse como el estado de un componente del sistema, que es necesario pero no suficiente para que el siniestro se produzca, -si se hubiera evitado que esta condición estuviera presente, el siniestro no se hubiera llegado a producir-, y sobre el que es posible actuar.

Cualquier situación o estado del sistema vial, o de cualquiera de sus subsistemas o que afecte a la forma en que interaccionan entre sí, que haya podido ser identificado formando parte de los procesos que acaban en un siniestro vial, de tal forma que el siniestro vial no habría ocurrido de la misma forma, si ese estado no hubiera existido o hubiese sido diferente.

Es útil distinguir entre causas y condiciones. Una causa produce el resultado. Esa causa es una combinación de eventos y condiciones que puede ser difícil, sino imposible, describir en detalle ya que algunas condiciones pueden estar ocultas o ser oscuras. Así cuando se analiza porque los hechos han ocurrido de una determinada forma, se incurrirán en una menor vaguedad al confirmar su por qué, si el significado del término causa se restringe a servir como sinónimo de combinación de circunstancias necesarias para producir ese resultado, tanto si son conocidas como desconocidas, y si por el contrario se utiliza el concepto de condición para referirse a cualquiera de esas circunstancias, especialmente, aquellas que son o pueden ser determinadas.

La condición, en el modelo MOSES, es un estado de un subsistema o elemento del sistema vial, que afecta a las acciones realizadas por ese mismo subsistema u otro subsistema provocando que un evento o una secuencia de ellos se produzca de una determinada manera, que si no estuviera presente hubiera ocurrido de forma distinta.

## **8. CONCLUSIONES**

De la lectura de este Capítulo en el que se ha expuesto el estado del arte de los modelos teóricos sobre el siniestro vial, así como el modelo propuesto en esta tesis, pueden extraerse las siguientes conclusiones.

- Existe una base de literatura científica suficiente, tanto en investigación aplicada a la formulación de modelos sobre siniestros viales como en la investigación básica que puede servir de desarrollo a aspectos parciales de este tipo de modelos, que permite adoptar una nueva aproximación al fenómeno de la siniestralidad vial.
- Se ha podido establecer un primer armazón conceptual en el que definir un modelo, denominado MOSES, que considera que el siniestro vial es un conjunto multilineal de secuencias de eventos que puede ser reconstruido física y dinámicamente estableciendo simultáneamente en cada evento las condiciones presentes en cada subsistema que compone el sistema dinámico de tráfico para conseguir determinar con arreglo a este método cómo y por qué sucedieron los hechos.
- El principal objetivo del nuevo modelo es servir como lenguaje común para que pueda existir una autentica investigación multidisciplinar del siniestro vial, aplicable en la realidad sin renunciar a las exigencias del método científico.

En base a lo expuesto, se considera que la primera parte de la hipótesis que contesta parcialmente a la primera Cuestión Derivada referente a la posible formulación de un modelo universal aplicable a todo tipo de siniestros ha quedado contestada afirmativamente, pero la respuesta completa a la pregunta necesita que los datos necesarios para aplicar el modelo se puedan realmente recopilar con una metodología real y efectiva de investigación. A esta tarea se dedicará el capítulo siguiente.





## Capítulo 3

# METODOLOGIA DE LA INVESTIGACIÓN DE SINIESTROS

### I. NIVELES DE LA INVESTIGACIÓN DE SINIESTROS VIALES

Cuando se comienzan a analizar las diferentes metodologías utilizadas en la investigación de siniestros viales aparecen una serie de problemas que impiden realizar un tratamiento homogéneo de todas ellas. Las metodologías estudiadas aparecen mediatizadas: en primer lugar, por las perspectivas utilizadas por los autores o investigadores que las utilizan, generalmente íntimamente relacionadas con la ciencia o disciplina de referencia de cada uno de ellos; en segundo lugar, por el plano con que se observa el fenómeno del siniestro vial y la dimensión de la investigación que se pretende realizar, por ejemplo un estudio de casos o un estudio estadístico sobre una muestra masiva; en tercer lugar, por el nivel de profundidad de los datos disponibles sobre el fenómeno y, por último, por las finalidades que se pretenden en la investigación concreta que aplica la metodología.

Teniendo en cuenta estos matices, así como los factores que condicionan la metodología de la investigación y la calidad de los resultados obtenidos, al finalizar de este epígrafe se realiza una propuesta realista para la definición de un nivel de investigación de siniestros viales en profundidad en España, basado principalmente en la metodología de la investigación policial, pero enriquecido por otras instituciones, organismos y profesionales que interactúan en todo siniestro vial que ocurre en nuestro país y cuyo conocimiento es necesario integrar en una base de datos.

#### 1. PERSPECTIVAS

En torno a la investigación de siniestros viales se han generado una serie de discusiones en la literatura científica, de toda índole, que se reproducen de forma intermitente a lo largo del tiempo en diferentes países e instituciones supranacionales.

En primer lugar, es indudable que la formación básica que tiene cualquier persona le condiciona no solo la perspectiva con la que acercarse a un determinado fenómeno, sino que en cierto modo también le proporciona el método, las técnicas y los procedimientos a emplear en su investigación y análisis. Incluso los fines y objetivos de la investigación son mediatizados por la disciplina a la cual se adscribe el investigador o el equipo de investigación que la lleva a cabo. Así, para un médico, o un profesional de la salud, es fundamental la perspectiva epidemiológica del siniestro vial como productor de lesiones y la forma de evitarlas o paliarlas con sus conocimientos su meta final, mientras que para un ingeniero mecánico la perspectiva del comportamiento dinámico del vehículo y su respuesta a los esfuerzos derivados del impacto para no superar los

límites biomecánicos del ser humano son los conocimientos que permiten mejorar constantemente la seguridad, tanto activa como pasiva, del vehículo a través de su diseño.

La adjetivación de la investigación como pluridisciplinar o multidisciplinar tiene diferentes sentidos y, a veces, se confunden estos significados en los trabajos sobre la materia. Por un lado, hay quien entiende que la multidisciplinariedad en la investigación se basa en la integración de diferentes tipos de investigadores en los equipos de investigación (médicos, psicólogos, ingenieros civiles, ingenieros mecánicos, policías,...), mientras están los que piensan que la multidisciplinariedad de una investigación se basa en la aplicación ordenada y coherente por un mismo investigador, o por diferentes pero actuando de forma coordinada, de una pluralidad de conocimientos de diferentes sectores del saber sobre un mismo fenómeno y en el uso de una variedad de técnicas de investigación sobre un determinado fenómeno observable.

En definitiva, la investigación de este campo debe ser un estudio multidisciplinar que abarque primordialmente los aspectos psicológicos, mecánicos, estructurales, normativos y específicos del siniestro vial. De aquí deriva la necesidad de que el investigador persiga el dominio de todas aquellas materias que se relacionan con este fenómeno, las refunda y relacione, creando nuevos pasos que conduzcan no a una nueva ciencia, –la pretendida accidentología vial–, porque sería demasiado pretencioso el término (Borrell Vives, 1993, p. 1).

En segundo término, se plantea por una parte importante de los autores que han escrito sobre metodología de la investigación de siniestros viales la supuesta utilización de métodos diferentes por parte de la policía y por parte de otros investigadores del mismo fenómeno (psicólogos, médicos, ingenieros, sociólogos,...), dándoles en exclusiva a estos últimos el marchamo de científicos (Lasen Paz, 1995, p. 51).

Frente a esta última postura, aquí se sostiene que el método científico es el único que puede ser utilizado en la investigación de siniestros viales, independientemente de quien sea el investigador, los fines que persiga y la institución a la que pertenezca. Como argumentos que ayudan a sostener esta afirmación se pueden aportar los siguientes:

- La propia definición de método científico, entendido como un procedimiento regular, disciplinado y sistemático para realizar una tarea cualquiera, y que se adapta perfectamente a los objetivos que un investigador debe cumplir cuando busca cómo y por qué sucedió un determinado siniestro vial. A la tarea que realice una persona sin método no se le puede denominar investigación. Además, si no se utiliza el método científico tampoco es posible confiar en la veracidad, exactitud y precisión de los resultados que se alcancen.
- La Organización Mundial de la Salud (OMS-WHO) considera que las medidas necesarias para que exista una reducción eficaz de los traumatismos debidos a los siniestros viales requieren un enfoque científico del problema (Peden, et al., 2004, p. 8).
- La ciencia en la investigación policial se abrió paso lenta, pero firmemente, desde el Siglo XIX e incluso existe una ciencia específica denominada Criminalística, o su término equivalente anglosajón Ciencias Forenses, que la Real Academia Española de la Lengua (RAE) define como el estudio de

los indicios de un hecho criminal con el fin de determinar todos los datos posibles relativos a la víctima o a las circunstancias del crimen (RAE, 2015) o, de una forma más precisa, una aproximación científica sistematizada para solucionar los problemas criminales sobre la base de los hechos adquiridos con una metodología científica (Inman & Rudin, 2000, p. 11). Es evidente que ya sean los siniestros viales un delito o no lo sean, la Criminalística es una ciencia plenamente aplicable a este tipo de fenómenos, aunque debe ser adaptada y matizada por otras como la Física, la Mecánica, la Psicología o por la Ingeniería Civil o Mecánica.

- La Red Europea de Institutos de Ciencias Forenses (*European Network of Forensic Science Institutes, ENFSI*), que en 2009 fue reconocido por la Unión Europea como la única voz de la ciencia forense en Europa, tiene uno de sus Grupos de Trabajo dedicado al Análisis de Siniestros Viales (*Road Accident Analysis Expert Working Group, RAAEWG*) que tiene una serie de objetivos conexos a la investigación científica forense y policial de este tipo de fenómenos (ENFSI, 2014).
- Las investigaciones de otros tipos de siniestros, como pueden ser los aéreos, los marítimos, los ferroviarios o los industriales son investigados con el método científico, por lo que por analogía también debieran serlo los siniestros viales. Así, por ejemplo el Reglamento (UE) 996/2010 del Parlamento Europeo y del Consejo de 20 de octubre de 2010 sobre investigación y prevención de accidentes e incidentes en la aviación civil establece que, entre sus objetivos, está “promover las mejores prácticas de investigación en materia de seguridad con miras a desarrollar una metodología de investigación en materia de seguridad común en la Unión y elaborar un inventario de dichas prácticas”.

En tercer lugar, existe una tensión latente entre sistemas de investigación públicos, semipúblicos y privados con la caracterización necesaria de las investigaciones en profundidad como independientes.

Las posturas que se adopten deben ser coherentes para conseguir diversos fines, que en principio no tienen por qué ser excluyentes, por ejemplo las investigaciones sobre siniestros viales deberían poder determinar las responsabilidades individuales de índole jurídica de las personas implicadas y simultáneamente poder establecer el conjunto de causas, desde las más evidentes y cercanas al resultado hasta las más ocultas y alejadas, para que sea posible articular un conjunto de políticas públicas preventivas efectivas.

Es necesario articular, en el campo de la seguridad vial, una estructura pública apoyada en la sociedad civil, y en las organizaciones privadas que la articulan, que permitan establecer una cultura de seguridad entre la población que realmente permanezca en el tiempo y permita que aquellas políticas de prevención sean realmente eficaces.

En toda actividad humana encaminada hacia un fin es necesario establecer una serie de pasos ordenados que aseguran mayor eficiencia y eficacia en el esfuerzo empleado. La investigación de siniestros viales no es una excepción. En todo el mundo existen investigadores pertenecientes a la policía, órganos judiciales, organismos públicos de

seguridad, compañías aseguradoras, médicos, psicólogos y diseñadores de vehículos que tienen que seguir una serie de normas para asegurarse unos resultados fidedignos. En este punto las diversas perspectivas de análisis del siniestro vial alcanzan un punto culminante, porque en cada una de ellas los objetivos parciales a alcanzar son diferentes. Aun con esta matización, deben sentarse las bases de un procedimiento común de investigación de naturaleza científica que asegure, por un lado, una mayor riqueza cuantitativa y cualitativa de los datos recogidos, y por otro lado, un análisis riguroso de las evidencias que permita deducir racionalmente el mecanismo y las causas de producción de lesiones en este ámbito. Este método debería ser común, al menos en su mayor parte, a todos los investigadores independientemente de su concreta adscripción científica o técnica.

## **2. PLANOS**

Es usual entre los autores, que estudian el método a aplicar en la investigación de siniestros viales, distinguir diferentes planos en función de los objetivos y finalidades perseguidos. Así, se considera clásica la distinción entre microinvestigación y macroinvestigación (Monclús González, 2005, p. 124), o utilizando otra terminología entre la investigación a nivel individualizado o en el nivel de datos agregados (OECD, 1997, p. 11). Se puede definir la microinvestigación, como aquella en la que se procede al análisis minucioso de un único siniestro vial, y la macroinvestigación como aquella donde se procede al análisis más superficial de un grupo de siniestros, generalmente, más amplio y que ofrece una visión general del problema en su conjunto.

Se ha afirmado que existe una relación inmediata entre la microinvestigación y la investigación en profundidad, y la macroinvestigación y el nivel básico de la investigación (OECD, 1997, p. 13; Monclús González, 2005, p. 124), aunque no siempre puede realizarse esta identificación de forma automática. De la misma forma simplificada, al nivel de datos agregados se le aplican los métodos estadísticos de investigación, mientras que al nivel individualizado se le aplican métodos más específicos como el estudio de casos, los experimentos o la simulación.

Shinar, ya advirtió que existen dos maneras diferentes de intentar afrontar los problemas implícitos en la identificación “post-hoc” de los factores causales del siniestro vial (2007, p. 698):

- Aproximación estadística. Una aproximación alternativa y más objetiva se apoya en el análisis estadístico de los factores implicados. Se supone que las causas de los siniestros son aquellos atributos del conductor, del vehículo y del entorno que se ven implicados con mayor frecuencia en la población de accidentados que en el resto. Por ejemplo, si se encuentra que la frecuencia de conductores intoxicados por ingestión de alcohol es mayor en la población de conductores involucrados en siniestros que en la población general de conductores, entonces el alcohol estaría “habitualmente involucrado en los siniestros, luego sería un factor causal. Mostrando tan sólo que una característica particular es más prevalente en una población de sujetos accidentados que en el global, se puede inferir que causa siniestros. Sin embargo, la inferencia es sólo por asociación y, a veces, resulta inapropiada.
- Aproximación clínica. Implica la reconstrucción detallada de los siniestros por su naturaleza, esto es, un análisis post-hoc de los sucesos, puesto que el siniestro

ha tenido ya lugar. Se intentan determinar las causas que lo produjeron, o las contingencias que intervinieron en la secuencia que causó el siniestro. Los investigadores deben confiar fundamentalmente en sus propios juicios y, por, tanto sus conclusiones son susceptibles de sesgos y errores, dado el grado de subjetividad en la evaluación de las causas, ya que la evidencia a partir de la cual se realiza la reconstrucción es en muchos casos fragmentaria y distorsionada.

Con una terminología más moderna (OECD, 1997, p. 73), al considerar los pros y los contras de cada una estas aproximaciones se observa que los modelos de consecuencias del siniestro sobre datos agregados dan una visión general del problema en su conjunto, pero los datos disponibles no son tan completos como en los estudios de casos individualizados, especialmente lo concerniente al diagnóstico de las lesiones sufridas. El nivel de análisis individualizado y los estudios en profundidad permiten obtener información más detallada en tipos específicos de siniestros, encarando como problema de fondo la necesidad de reunir casos que sean suficientes en cantidad y representativos para alcanzar conclusiones de alcance general. En conclusión, ambas aproximaciones están lastradas en sus planteamientos por sus limitaciones en la calidad o en la cantidad de los datos recopilados.

Podemos realizar una crítica del planteamiento de Shinar porque parte de una afirmación apriorística parcialmente falsa: la subjetividad de la investigación individualizada de cada siniestro. Realmente, la microinvestigación llevada a cabo con una metodología contrastada, por personal cualificado, utilizando el tiempo y la tecnología adecuada, se aleja del subjetivismo para acercarse a lo objetivo. La aplicación de las nuevas tecnologías de simulación al conjunto de datos aportados por la investigación basada en las evidencias objetivas recogidas en la escena del siniestro de acuerdo con las técnicas criminalísticas, puede mejorar la exactitud y fiabilidad de la reconstrucción retrospectiva de todo tipo de siniestros viales.

Aunque tradicionalmente los dos tipos de investigación se han aplicado separadamente, podrían utilizarse complementariamente. En base a este argumento, puede aducirse que el objetivo principal de la microinvestigación consiste en ser una fuente fiable para su estudio por la macroinvestigación. En este sentido, la aportación de datos rigurosos y precisos con los cuales realizar un análisis estadístico, que tenga en cuenta las diferentes variables que intervienen en el siniestro de tráfico es crucial para conseguir el descenso de la siniestralidad. Este objetivo preventivo que tiene como finalidad mediata el salvar vidas humanas no ha de perderse de vista. La aportación del material probatorio, o meramente indiciario, a un procedimiento judicial donde se depuren responsabilidades penales o civiles concretas de los involucrados en el siniestro, aun siendo una actividad fundamental y necesaria, no es suficiente.

El método clínico podría utilizarse para identificar aquellas variables que podrían ser investigadas en la aproximación estadística. En este sentido se ha apuntado que la reconstrucción de los siniestros viales juega un papel decisivo, porque permite el conocimiento detallado y cierto de los factores implicados en cada siniestro. De esta forma, los resultados de las reconstrucciones de la globalidad de siniestros viales, en la medida de que sean fiables, podrán ser analizadas aplicando métodos estadísticos para extraer conclusiones de valor más general, pero sin una información primaria, rigurosa, los datos estadísticos tendrán poco valor (Aparicio Izquierdo, et al., 2002, p. 107).

A modo de resumen, la interrelación o interdependencia de los diferentes planos o perspectivas de la investigación sobre el siniestro de tráfico puede expresarse de forma gráfica a través del esquema de elaboración propia.

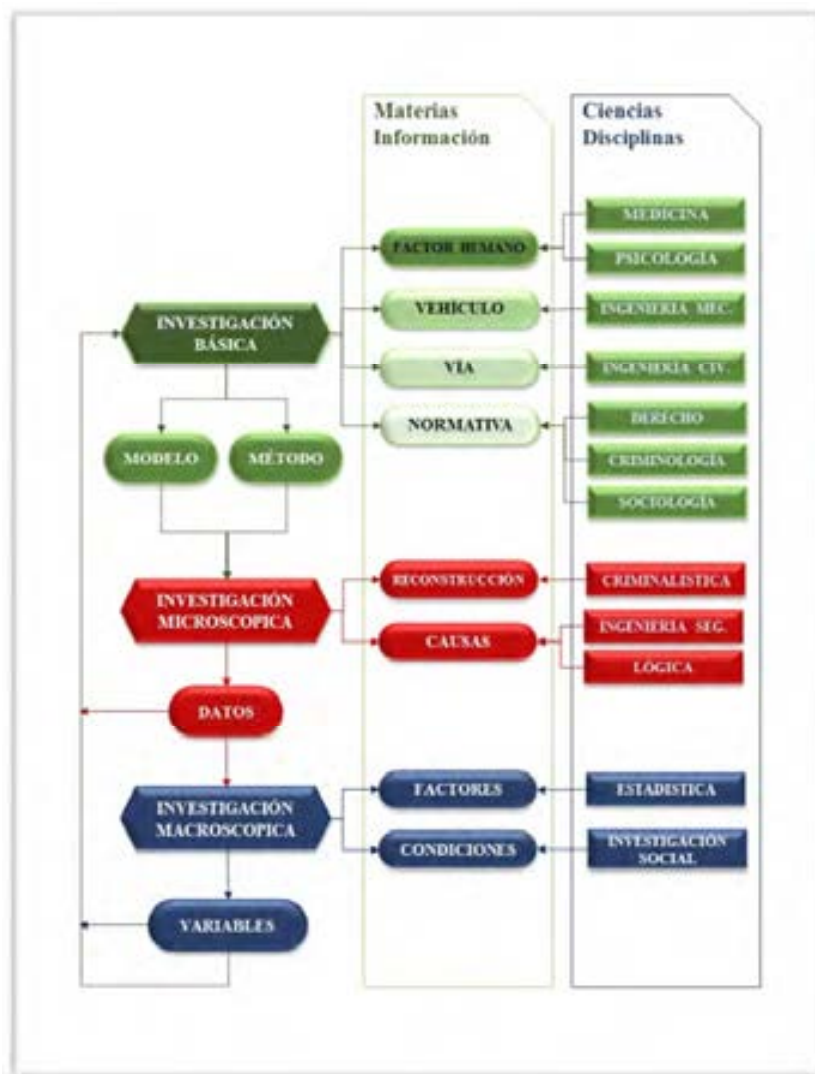


Figura 25: Relaciones entre los diferentes planos de la investigación sobre siniestros viales

La investigación básica sobre el conductor y los usuarios de la vía, objeto de la Medicina y la Psicología, sobre el vehículo, objeto de la Ingeniería Mecánica e Industrial, sobre la vía, objeto de la Ingeniería Civil, de Caminos y Obras Públicas, y la normativa, objeto del Derecho, la Criminología y la Sociología permiten avanzar en la definición de un modelo del siniestro vial y una metodología para su investigación microscópica. La reconstrucción técnica, que permita responder a cómo sucedieron los hechos, y el análisis de las causas que son objeto de la Criminalística con la aplicación teórica de la Física y la Ingeniería de acuerdo con las reglas deductivas de la Lógica ofrece un conjunto de información que correctamente registrada en una base de datos permite que se realicen estudios macroscópicos. La determinación de los factores y condiciones de los siniestros viales mediante la determinación de las variables de interés y su interrelación son realizadas por investigadores de todo tipo de ciencias sociales utilizando la estadística.

Las conclusiones obtenidas de la investigación macroscópica junto a los datos de la investigación microscópica deben servir para que las disciplinas clásicas avancen en la investigación básica que permite ampliar el conocimiento disponible mejorando las capacidades de los conductores, el diseño de los vehículos y la vía y el establecimiento de una normativa adecuada.

### **3. FACTORES CONDICIONANTES DE LOS RESULTADOS**

Un sistema de datos sobre siniestros viales incluye a las personas, procesos, recursos materiales y aplicaciones implicadas en la recogida y gestión de información sobre este tipo de hechos.

A criterio de la OMS, un buen sistema de datos sobre siniestros viales debería (Peden, et al., 2010, p. 7):

- Tener cobertura de prácticamente todos los siniestros mortales y una significativa proporción de aquellos en los cuales se producen lesiones graves a alguna de las implicadas.
- Aportar información en un nivel de detalle adecuado sobre el vehículo, los conductores y usuarios y la vía y su entorno para ayudar a identificar las causas de los siniestros viales y a adoptar las medidas que los prevengan.
- Incluir una información precisa de las localizaciones de los siniestros viales.
- Facilitar la realización de los informes, oportunos en el tiempo, de tal forma que el análisis de los datos sirva como evidencia en la que basar las decisiones sobre la estrategia a seguir en la lucha contra la siniestralidad. La falta de datos fiables reviste especial trascendencia en los niveles nacional y local, donde se necesitan para fundamentar firmemente la planificación y la toma de decisiones en materia de seguridad vial.

Según el criterio del Consejo Europeo de Seguridad en el Transporte (*European Transport Safety Council, ETSC*) la planificación, coordinación y ejecución de la investigación de siniestros viales, para poder utilizar plenamente como soporte de la toma de decisiones en el ámbito seguridad vial, debe superar varios aspectos clave (ETSC, 2001, p. 11):

- Cobertura geográfica, la estructura para la toma de los datos debe cubrir la mayor parte del territorio de la Unión Europea, así como resultar tan representativo como sea posible de las diferentes tipologías y condiciones que se presentan en su globalidad.
- Tipos de usuarios de la vía, los principales grupos de usuarios implicados en siniestros deben ser cubiertos, específicamente los ocupantes de vehículos, los ciclistas, los motociclistas y los peatones.
- Nivel de detalle, los datos deben ser los suficientemente detallados para permitir una evaluación de la regulación específica en la materia.



- Causas de los siniestros viales y de las lesiones, el principal foco debe ser situado en las áreas de la seguridad vial en las cuales la Unión Europea tiene la principal responsabilidad. Esto incluye el diseño de vehículos y las causas de las lesiones, aunque los datos sobre las causas mismas del siniestro también son útiles, particularmente para los casos de alto riesgo o para la protección de los usuarios vulnerables de la vía.
- Independencia, la recogida y análisis de los datos debe ser realizada por grupos que no tengan una participación en las consecuencias financieras de las investigaciones.

La calidad de este sistema depende de una serie de factores y circunstancias de índole tanto cuantitativa como cualitativa y que afectan al resultado final bien de una forma directa o bien de una manera indirecta. Estos factores serían, sin pretender ser exhaustivo, los siguientes:

- Los medios humanos: la preparación del personal investigador
- Los medios materiales: la tecnología aplicada a la investigación.
- La metodología de la investigación: Inmediatez y continuidad de la investigación
- Las tipologías de siniestros viales incluidas en la investigación.
- Tamaño de la muestra de datos: global-parcial.
- Ámbito geográfico de la investigación: local-nacional-internacional

A continuación se desarrollará como afecta al sistema de datos sobre siniestros viales cada uno de ellos

### **3.1 Los medios humanos: la preparación del personal investigador**

Normalmente las críticas hacia los informes policiales redactados sobre los siniestros viales, basadas en su falta de información, parámetros y variables, partían de la literatura anglosajona americana (Treat, et al., 1979, p. 52; Shinar, et al., 1983, p. 175; Zegeer, 1987, p. 43; Mak & Viner, 1987, p. 55; Anderson, et al., 1994). Lamentablemente, la Unión Europea se ha hecho eco de esas afirmaciones (Monclús González, et al., 2006, p. 24), sin ningún sentido crítico, ya que el modelo policial americano sobre investigaciones de tráfico y su correlativo sistema de datos no tiene nada que ver con el europeo y, aún dentro de este último no existe uniformidad en la metodología de la investigación de siniestros entre los diferentes cuerpos policiales de cada país. Para sostener esta afirmación basta con comparar un modelo de informe sobre siniestro vial de cualquier cuerpo policial norteamericano y un atestado o informe técnico de la Agrupación de Tráfico de la Guardia Civil, de la Policía Sueca, de la Policía Finlandesa o de la Policía Holandesa.

El mito de la necesidad y suficiencia de la investigación independiente sobre siniestros viales para conseguir alcanzar el denominado nivel en profundidad del sistema de datos se basa en tres premisas, que pueden catalogarse a priori como falsas:

- En primer lugar, la necesidad de esa independencia se basa en la supuesta incompetencia de todos los Cuerpos Policiales, a nivel mundial, para recoger o recopilar los datos con el suficiente detalle para que se pueda comprender el cómo y el porqué de los siniestros viales.
- En segundo término, el hecho de que existan agencias o instituciones con mayor o menor grado de integración administrativa en la estructura de cada Estado nacional dedicadas en exclusiva a la investigación de siniestros no asegura una independencia de la investigación, ni mucho menos una independencia de los resultados. Por ejemplo, la existencia en Finlandia de una implicación en la investigación de siniestros viales de las compañías de seguros, como elemento al margen de la investigación policial, no asegura, por sí sola, la independencia de la investigación resultante.
- Finalmente, en el caso de que se consiguiera esa deseada independencia esta característica por sí sola no es requisito suficiente para conseguir un sistema de datos sobre siniestralidad vial que cumpla un mínimo de requisitos cuantitativos y cualitativos sobre la información recogida.

En el Estudio Trilevel, con respecto a la Policía del condado de Monroe del Estado de Indiana (Estados Unidos de Norteamérica), los autores admiten que la sensibilidad de la determinación de los investigadores policiales con respecto al global de las causas era baja. En concreto, cuando se trataba de determinar las causas directas del siniestro vial, tanto las atinentes al Factor Humano, al vehículo y al entorno medioambiental, el criterio de los investigadores policiales era fiable. Añadiendo que sus razonamientos eran más exactos en la fijación de las causas directas que cuando tenían que determinar las causas indirectas. Finalmente, dentro de estas últimas eran poco fiables al determinar las causas indirectas atribuibles al vehículo y al entorno de la vía (Treat, et al., 1979, p. 153).

Es sensato pensar que un policía, para ser considerado investigador de siniestros viales, debe estar especializado en este tipo de sucesos y es igualmente evidente que la formación inicial recibida debe ser actualizada continuamente y, a ser posible ampliada, con materiales monográficos. También es posible imaginar conseguir una superespecialización dentro del equipo de investigación policial de siniestros viales, de tal forma que existan expertos que sean analistas de la escena, analistas del vehículo, entrevistadores de testigos e implicados y apoyo informático a la investigación del siniestro, entre otros. No existe casi ninguna literatura sobre la composición de equipos policiales para la investigación y reconstrucción de siniestros.

### **3.2 Los medios materiales: la tecnología aplicada a la investigación**

Los medios materiales con los que cuente el equipo investigador determinan la necesidad, o no, de profundizar en su formación y especialización. La tecnología puede hacer accesibles datos detallados de cómo sucedió un siniestro vial. Hay actualmente en el mercado algunos avances tecnológicos que se encuentran en funcionamiento en la vida

real, aunque su uso ni es obligatorio ni es generalizado, que mejorarían mucho la calidad de la investigación llevada a cabo sobre un siniestro vial.

El primero de estos avances, el Grabador de Datos sobre Eventos (*Event Data Recorder, EDR*), vulgarmente conocido como caja negra, es un instrumento de grabación y almacenamiento digital de datos generalmente vinculado a los sensores de airbag con que están equipados los vehículos y que graba una serie de variables y parámetros diversos de naturaleza física sobre las fases de preimpacto, impacto y postimpacto. Aunque estos datos varían de un fabricante a otro suelen grabar la velocidad y aceleración del vehículo, el estado de los módulos electrónicos del vehículo y el estado del sistema en la fase precolisión, las aceleraciones durante el impacto, los datos y el estado de los sistemas de seguridad pasiva, la reacción del conductor y la información sobre la velocidad y aceleraciones postimpacto (Singleton, et al., 2008, p. 262).

En Estados Unidos y Canadá hay marcas de vehículos como General Motors, Ford, Chrysler y Chevrolet que montan EDR de serie en sus vehículos, de tal forma que en junio de 2004 la Administración Nacional de Seguridad Vial de Carreteras (*National Highway Traffic Safety Administration, NHTSA*) de los Estados Unidos propuso una estandarización de los requisitos de homologación de los EDR. En la jurisprudencia de estos países es frecuente encontrar referencias a los datos extraídos de estos instrumentos, si alguno de los vehículos implicados en el siniestro vial estaba equipado con él.

La Unión Europea ha seguido la estela de la utilización, de momento voluntaria, del EDR en los Estados Unidos a través de la financiación del Proyecto Veronica (sin acento como en el original). El objetivo de Veronica es la definición de los requisitos técnicos, legales y preventivos para la introducción de un posible deber de montar en los vehículos de motor sistemas de grabación de datos EDR, en los que se incluyan los requisitos para la notificación automática de siniestro. Técnicamente la concepción europea se ha separado del sistema americano, pero la filosofía de aplicación a la investigación de siniestros es la misma (Schmidt-Cotta, et al., 2006, p. 4). La capacitación forense de la Policía para la extracción de datos de este tipo de dispositivos es una de las líneas de trabajo del Proyecto Veronica.

La Conferencia del Observatorio de Seguridad Vial Europeo (*European Road Safety Observatory, ERSO*), celebrada en Roma en abril de 2008, ha confirmado el interés y la relevancia que los grabadores de datos EDR pueden tener para la mejora de la investigación de siniestros viales y el desarrollo de estudios en profundidad sobre seguridad vial.

El Proyecto Veronica II, finalizado en 2009, tiene como primera conclusión que la información procedente de los grabadores de datos EDR es necesaria ya que aporta “datos en profundidad sobre la vida real” que son imprescindibles tanto para la investigación en seguridad vial al objeto de adoptar medidas preventivas como para el enjuiciamiento judicial de las reconstrucciones de siniestros viales. Este argumento justifica que se implante de forma obligatoria el EDR (Schmidt-Cotta, 2009, p. 11).

En segundo lugar, los equipos de reconstrucción de accidentes, tanto sean netamente policiales, multidisciplinarios o dedicados a la investigación aplicada utilizan programas de reconstrucción o simulación de siniestros viales. Este tipo de aplicaciones informáticas son herramientas muy potentes que permiten contrastar las hipótesis de

trabajo y confirmar a través de modelos matemáticos complejos la forma en la cual se produjo el siniestro, introduciendo como parámetros de inicio los valores que se deducen de los datos y evidencia recogidos en la escena de los hechos y en la investigación posterior.

Finalmente los avances tecnológicos en el procesamiento de la escena del siniestro pueden llegar a ofrecer resultados realmente espectaculares. La fiabilidad de la reconstrucción virtual del entorno en el que se desarrolló el siniestro, de las posiciones finales de las personas y vehículos, y de los daños sufridos por los vehículos aporta una importante mejora en la calidad de las simulaciones informáticas que puedan realizarse de forma virtual con los programas referidos en el párrafo anterior. Ya sea mediante el uso de costosos escáneres tridimensionales o mediante la mejora en la aplicación de la fotogrametría se pueden hacer levantamiento topográficos de la escena y modelos virtuales a escala de los vehículos deformados en los que medir la magnitud de los daños sufridos, que pueden ser de gran utilidad para el esclarecimiento de la forma en que sucedió el siniestro vial.

### **3.3 La inmediatez y la continuidad de la investigación**

Desde un punto de vista de la relación entre el tiempo que transcurre desde que sucede un siniestro hasta que se realiza la investigación, ésta última puede clasificarse de la siguiente forma:

- Investigación en el lugar del siniestro es aquella en la que los equipos de investigación se desplazan al lugar del siniestro inmediatamente después de tener conocimiento de su ocurrencia mediante el aviso desde el correspondiente centro de emergencias (O'Day & Waissi, 1986, p. 36). La obtención de datos se realiza de primera mano, observando y realizando una inspección técnico ocular de la escena.
- Retrospectiva es aquella investigación en la que los equipos de recogida de datos se desplazan al lugar del siniestro y al lugar donde han sido trasladados los vehículos transcurrido un tiempo tras producirse el siniestro, en general varios días después. La obtención de datos se hace a partir del informe policial, complementándolo con la inspección del lugar del suceso y, en su caso, de los vehículos una vez retirados de allí. También pueden incluirse datos procedentes de hospitales y compañías de seguros.
- Investigación intermedia: aquella en la que los equipos de investigación se desplazan lo antes posible al lugar del siniestro, normalmente antes de que transcurra más de cuarenta y ocho horas desde la ocurrencia del siniestro (Monclús González, 2005, p. 124).

Parece obvio que para cualquier tipo de investigación la inmediatez de la observación de los resultados de un suceso y la continuidad del equipo de investigador en todas las etapas suponen un plus de calidad

Más interesante es la distinción que puede realizarse en los sistemas de obtención de datos sobre siniestralidad vial, atendiendo al origen y al flujo de los mismos hacia una o varias bases de datos (O'Day & Waissi, 1986, p. 36):

- En el sistema paralelo, la acumulación se produce a partir de diferentes flujos de datos, paralelos unos a otros, que van descargando datos al mismo tiempo. En varios países los cuerpos policiales, los hospitales, las compañías de datos y, en algunos casos, la inspección técnica de vehículos aportan información sobre siniestros viales procedente de sus propias bases a una sola base colectora coordinada por alguno de ellos o por un organismo ajeno a ellos.
- En el sistema secuencial de recopilación de datos la acumulación de una variedad de datos se realiza en una sola base de datos. Esto implica seguir un orden estricto para la obtención de los datos y su volcado en la base de datos. En primer lugar, se volcaría la información policial recogida en la escena de los hechos, posteriormente la inspección mecánica de los vehículos implicados, y después, el diagnóstico de las lesiones sufridas por las víctimas del siniestro.
- En el sistema combinado, que es el utilizado en la mayoría de los proyectos o programas de investigación en profundidad, es una mezcla de ambos métodos y requiere una considerable dosis de interacción y cooperación entre la policía, los hospitales y otras instituciones para conseguir recopilar información precisa sobre los siniestros viales.

La naturaleza compleja de la investigación de siniestros viales, unida a los avances que ha sufrido el diseño y gestión de bases de datos a través de procesos telemáticos, inclina a pensar que el sistema combinado puede ser el más eficaz y eficiente de los tres métodos enunciados.

### **3.4 Tamaño de la muestra de datos**

Atendiendo al tamaño de la muestra de los hechos investigados en comparación con el número total de siniestros viales se puede diferenciar entre sistemas globales de investigación y sistemas parciales de investigación.

Las investigaciones en profundidad suelen limitarse a muestras parciales de la población total de siniestros viales ocurridos en un determinado país, ya sea porque se encuentran limitados geográficamente o a una determinada tipología de siniestros viales. Algunos países más avanzados en la investigación de siniestros viales, como Suecia, se ha intentado extender el ámbito de cobertura de las investigaciones en profundidad a todos los siniestros viales mortales, aunque simultáneamente también se ha extendido la cobertura de los datos a las lesiones sufridas por las víctimas.

El objetivo final de cualquier sistema de datos sobre siniestros viales es conseguir la cobertura global de todos los siniestros viales ocurridos en un determinado país. Para ello se puede acometer una doble ampliación de los datos: por un lado se deben ampliar los diferentes tipos de siniestros viales que son objeto de investigación avanzada, y por otro lado, cada vez se deben aportar un mayor número de datos sobre todos los elementos y factores que confluyen en un siniestro vial.

### **3.5 Tipología de siniestros viales incluidos en la investigación**

El Grupo de Trabajo sobre estrategias viales para afrontar los siniestros en el transporte (*ROSAT, ROad Strategy for Accidents in Transport*) añade un cuarto nivel a los tres anteriores, el de las investigaciones especiales sobre siniestros. En este nivel las investigaciones se llevan a cabo por equipos multidisciplinares con metodologías de trabajo diseñadas a medida de la concreta tipología de siniestros viales a estudiar y con la finalidad de prevenirlos total o parcialmente en el futuro o aminorar sus consecuencias (Monclús González, et al., 2006, p. 22).

Frente a este tipo de investigaciones se encuentran las que aplican una metodología de la investigación genérica y homogénea para todo tipo de siniestros viales, aunque los módulos o submódulos de datos puedan ser ampliados para unas u otras tipologías de siniestros viales. En otras palabras, el utilizar una metodología homogénea para investigar los siniestros viales no está reñido con la ampliación de determinados datos sobre el vehículo o sobre la víctima en los supuestos de atropellos a peatones.

Llegando a niveles de desarrollo muy elevados se puede llegar a plantear la prevención de siniestros viales a través de la investigación basada en la observación de conflictos. En este último caso, en el seno de las investigaciones se despliegan procedimientos de observación y registro “en vivo” para identificar y analizar situaciones conflictivas en el tráfico que aunque finalmente se queden en simples incidentes, podrían haber desembocado en siniestros de consecuencias importantes. El análisis de conflictos puede ampliarse al estudio de incidentes y, en última instancia, al análisis de riesgos, campos en los que existe un potencial de conocimiento en gran medida sin explotar.

### **3.6 Ámbito geográfico de la investigación**

Otro problema concerniente a la recopilación de información para la creación de un sistema de datos sobre siniestralidad vial es el ámbito geográfico de recogida de los datos. Lo usual es diferenciar entre bases de datos de ámbito local, nacional e internacional

Resulta bastante complejo combinar las bases de datos de varias regiones dentro de un país o entre varios países. La extrapolación o generalización de los resultados o las conclusiones de los análisis parciales en profundidad de muestras a nivel local deben hacerse con mucho cuidado y precaución. Si el análisis de los datos fuera solamente para correlacionar las lesiones producidas con la fiabilidad del vehículo, entonces los métodos de muestreo no serían un problema. Sin embargo, algunos proyectos europeos, tales como STAIRS (*Standardisation of Accident and Injury Registration, STAIRS*), van más allá y pretenden utilizar las bases de datos a nivel local, nacional o en profundidad como herramientas para comprender mejor la siniestralidad de los ciudadanos europeos. Para conseguir este objetivo el proceso de selección de casos debe conducir a la obtención de datos representativos de la población global.

Se pueden realizar las siguientes simplificaciones, en el ámbito europeo:

- La base de datos en profundidad está incluida dentro de la base de datos local o nacional.
- La base de datos local puede ser una muestra parcial de la base de datos nacional.

- La base de datos en profundidad puede ser una muestra de la base de datos local.

Para relacionar los datos recogidos en la investigación en profundidad de una muestra de siniestros viales a nivel local con el conjunto de la población estadística completa de siniestros viales, y a partir de aquí establecer la correspondencia a la población nacional o a un conjunto de países que conforman una institución supranacional, se realizará utilizando factores de ponderación aplicados a través de un proceso en dos etapas (Vallet, et al., 1998, p. 1303).



*Figura 26: Nexos de unión entre las bases de datos a nivel nacional y las bases de datos en profundidad*

Si una variable de interés solamente se recoge en una base de datos en profundidad y se necesita realizar una estimación de su distribución a nivel nacional, la distribución en profundidad puede ser ponderada por una o más variables que extrapolaran los resultados para estimar la distribución a nivel local y nacional. Las variables de ponderación deben ser comunes tanto en las bases de datos en profundidad y en las bases de datos locales, nacionales o internacionales. Además, las variables de ponderación reducirán la parcialidad de las muestras que pueden ser una base de datos en profundidad. Un sistema de comprobación a cada nivel del proceso se utilizará con un resultado conocido y a partir de ahí determinar las variables relacionadas para asegurar la fiabilidad de la estimación.

El problema es identificar aquellas variables de ponderación que se requieren para las variables de interés y para demostrar que su uso reduce la parcialidad.

Tanto Francia como Reino Unido han planificado los nexos de unión entre sus respectivas bases de datos en profundidad y las bases de datos adecuadas a nivel local o nacional a través del uso de variables comunes. En Alemania los nexos a las bases locales de datos sobre accidentes son posibles, aunque no es posible conseguir la representación de la base de datos nacional a partir de la muestra recogida debido a las características especiales del área de extracción de la muestra local. Estimar los parámetros correctores

para conseguir extrapolar los datos de una pequeña base de datos en profundidad a nivel nacional puede resultar bastante impreciso.

En España aplicando la metodología expuesta en la segunda parte de este Capítulo podría, en principio, realizarse un estudio en profundidad con una muestra lo suficientemente representativa para poder extrapolar los resultados a nivel nacional

#### **4. NIVELES CLÁSICOS**

En los Estados Unidos, la Administración Nacional de Seguridad Vial (NHTSA) desde sus comienzos a finales de los años sesenta ha definido y desarrollado tres niveles en la investigación de siniestros (O'Day & Waissi, 1986, p. 9). Por entonces se definían vagamente estos niveles como sigue:

- Nivel 1: Las investigaciones policiales aportan lo que generalmente se considera la masa de datos sobre el siniestro.
- Nivel 2: Una variedad de programas que se mantienen entre el nivel 1 y el nivel 3.
- Nivel 3: Estudios individualizados bastante completos llevados a cabo por equipos multidisciplinarios o en profundidad de investigación de siniestros (MDAI siglas en inglés).

A comienzos de los años setenta, bajo el patrocinio de la NHTSA, vieron la luz algunos esfuerzos encaminados a realizar estudios en los tres niveles definidos. En primer lugar en el laboratorio de seguridad americano Calspan, en investigaciones de notable importancia, y en la Universidad de Michigan donde se intentaron desarrollar bases de datos compatibles en los tres niveles. El estudio más famosos y citado fue el TriLevel Estudio de las Causas de los Siniestros Viales que se llevó a cabo en la Universidad de Indiana entre 1972 y 1977 sobre los siniestros viales ocurridos en el Condado de Monroe (Treat, et al., 1979, p. 7). Se recopilaban un total de 13.568 informes policiales (nivel A), se realizaron un total de 2.258 investigaciones en la escena del siniestro vial por parte de técnicos en la materia (nivel B) y se llevaron a cabo 420 investigaciones en profundidad por parte de equipos multidisciplinarios sobre dichos siniestros (nivel C). El modelo de siniestro vial utilizado en el estudio era claramente secuencial. Este fenómeno era visto con el resultado final de una cadena de eventos y condiciones que lo precedieron. La causa se definió como un evento o condición sin la cual el siniestro vial no hubiera ocurrido. El énfasis se puso en los eventos y condiciones inmediatamente precedentes al siniestro porque se podían ver como los nexos finales de una cadena causal que culmina con el siniestro. Los equipos de investigación clasificaban los factores causales como seguro, probable o posible.

El equipo de investigación en profundidad identificó los errores humanos como causas seguras o probables en un 93 % de los siniestros, los factores medioambientales de la vía en un 34 % y los factores asociados al vehículo en un 13 %. En un 20 % de los siniestros viales estudiados en profundidad, no se pudo determinar ninguna causa segura (O'Day, et al., 1973, p. 126; Treat, et al., 1979, p. 7).



Más interesante resulta comparar los porcentajes de causas atribuibles a cada elemento tanto en el nivel B como en el nivel C. Se trata de determinar el valor añadido de las investigaciones en profundidad tal y como se diseñaron y llevaron a cabo con respecto a una investigación de calidad en la escena del siniestro vial. En el siguiente gráfico pueden verse esta comparación:

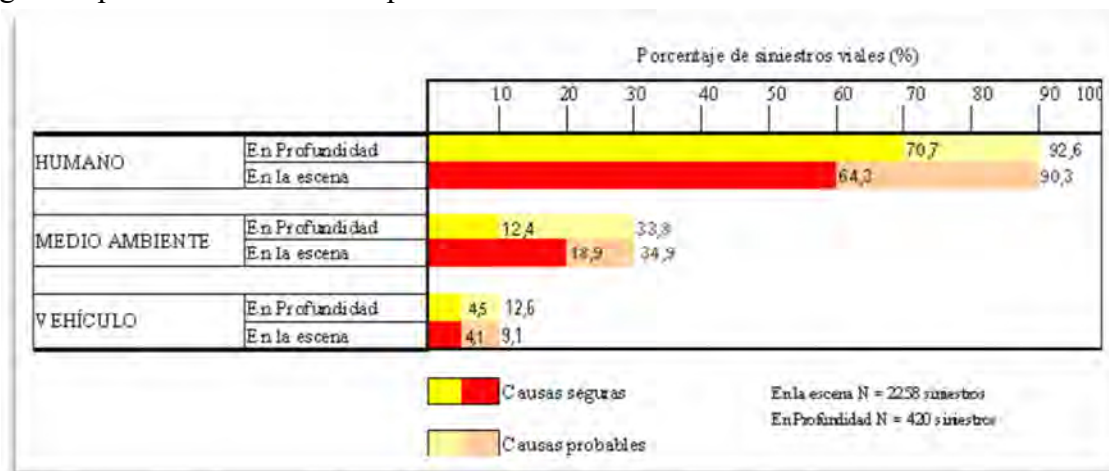


Figura 27: Causas seguras y probables atribuidas al factor humano, al medio ambiente y al vehículo en el Estudio Trilevel

La investigación en profundidad solo aportó un cambio del 6,4 % en las causas seguras atribuibles al factor humano, mientras que este cambio fue de 6,5 % en el medio ambiente y de un 0,4 % en el vehículo. En el caso de las causas probables las diferencias fueron de un 2,3 %, un 1,1% y un 3,5 %, respectivamente.

La pregunta que surge de este somero análisis es: ¿Los costes de la investigación en profundidad, tal y como se concibe en el estudio Trilevel, se justifican con los resultados obtenidos después de llevarla cabo? O por el contrario merecería la pena centrarse en el nivel B, añadiendo a la metodología de recogida de datos en la escena de los hechos, otras informaciones internas de la propia investigación o externas disponibles en otros organismos e instituciones.

En la siguiente tabla se muestra en cada uno de los tres niveles descritos las posibles fuentes de información junto con la propuesta de Sabey sobre las posibles utilidades de estos datos (Thomas, et al., 2003, p. 2; Monclús González, 2005, p. 123):

Tabla 11: Niveles en la investigación de siniestros viales

NIVEL	FUENTES DE DATOS	UTILIDAD DE LA INFORMACIÓN
1. BÁSICO	a) Informes policiales	1. Conocer circunstancias generales del siniestro (quién, dónde, cuándo, qué). 2. Examinar tendencias en el volumen de Tráfico, los riesgos y los siniestros. Hacer pronósticos de evolución.
	b) Estadísticas nacionales	3. Evaluar macroscópicamente los efectos de las leyes y medidas 4. Proporcionar la base para priorizar áreas de actuación
2. INTERMEDIO	a) Informes policiales	1. Identificar y diagnosticar situaciones de riesgo en ámbitos concretos (ejemplos: puntos negros, grupos de riesgo...)
	b) Examen del lugar del accidente	2. Reconstruir los siniestros viales
	c) Evidencias adicionales (atestados, testigos...)	3. Identificar medidas concretas útiles.
	d) Informes judiciales	4. Determinar responsabilidades
3. EN PROFUNDIDAD	a) Informes policiales	1. Averiguar las causas del siniestro
	b) Examen del lugar del siniestro	2. Valorar mecanismos lesionales
	c) Evidencias adicionales (atestados, testigos...)	3. Estudiar medidas de prevención de siniestros y de lesiones
	d) Entrevistas con los implicados	4. Incrementar el conocimiento en seguridad vehicular, tolerancia al impacto, y mecanismos lesionales
	e) Valoración clínica de lesiones	5. Evaluar la efectividad de las medidas legislativas, educativas...
	f) Inspección técnica de vehículos	

Si se observa con atención y se reflexiona sobre lo expuesto en la columna dedicada a las fuentes de datos se puede comprobar que el elemento común en los tres niveles son los informes policiales. No es extraño, que se hayan reformulado, aparentemente solo de forma nominal, los tres niveles para nombrarlos y definirlos de la siguiente forma (Mak & Viner, 1987, p. 55):

- Nivel Policial, en el que se recaban por el Cuerpo Policial competente los datos básicos sobre cada siniestro vial, al menos sobre aquellos que tienen víctimas. Estos datos son ampliamente utilizados para diferentes propósitos, incluidas las aplicaciones estadísticas, la extracción de información estadística analizada para informe, la identificación de puntos peligrosos o tramos de concentración de siniestros, y los estudios sobre siniestros que varían desde la identificación del problema hasta la evaluación de efectividad de las medidas adoptadas.
- Nivel Policial Avanzado. En este nivel los datos básicos son los que aportan los informes policiales sobre el siniestro, a los que se añade información adicional y un mejor control de calidad de los datos. El sistema norteamericano de Informes sobre Siniestros mortales (*Fatal Accident Reporting System, FARS*) es un ejemplo de este nivel, en el que a los datos procedentes de diversos cuerpos de policía se le añaden otros datos del



vehículo y el conductor, así como información médica del conductor y las víctimas.

- Nivel en profundidad. Como su nombre indica aporta un nivel más detallado de información, que si se incluye en una base de datos diseñada adecuadamente, puede servir para los más diversos fines.

En el reciente proyecto DaCota se han modificado profundamente los niveles reajustado los anteriores, aunque aparentemente, sean nominados de la misma forma (Diez Rabanal, et al., 2011, p. 10)

NIVEL	DEFINICIÓN Y OBJETIVOS	EJEMPLOS
1. BÁSICO	Recolección de datos del accidente orientada a la descripción general de la situación en la que se producen los siniestros, analizar tendencias y evaluar macroscópicamente efectos de la legislación y proporcionar la base para priorizar áreas de actuación.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Base de Datos de Accidentes con Víctimas de la DGT.</li> <li>- CARE (<i>Community Database of Accidents Resulting in Death or Injury on Road in Europe</i>) de la Unión Europea.</li> <li>- IRTAD (<i>Internacional Road Traffic and Accident database</i>) de la OCDE</li> </ul>
2. INTERMEDIO	Situadas entre una investigación básica y una investigación en profundidad, van dirigidas a identificar posibles tramos de concentración de accidentes, a la realización de una reconstrucción dinámica del siniestro y a la determinación de responsabilidades	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Informes de atestados de la policía y Guardia Civil (Informes judiciales).</li> <li>- Informes de seguros.</li> </ul>
3. EN PROFUNDIDAD	Investigaciones multidisciplinarias y sostenidas en el tiempo que estudian los factores que hayan podido contribuir a que ocurrieran los accidentes, análisis de los mecanismos de lesión y estudio de medidas de prevención de accidentes y de lesiones. Sirven de base para la propuesta de futuras contramedidas, aumento de conocimiento sobre seguridad en los vehículos, infraestructuras y mecanismos de lesión. También para realizar el seguimiento de la efectividad de distintas políticas legislativas y para cuantificar las ventajas que reportan las nuevas tecnologías.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- GIDAS (German In-Depth Accident Study) en Alemania.</li> <li>- CCIS (Co-operative Crash Injury Study) en el Reino Unido.</li> <li>- LAB (Laboratory of Accidentology, Biomechanics and Human Behaviour) en Francia.</li> <li>- NASS CDS (National Automotive Sampling System-Crashworthiness Data System) en EE.UU.</li> <li>- DIANA (Investigación y Análisis de Accidentes de Tráfico) de la Fundación CIDAUT en Valladolid.</li> </ul>
4. ESPECIALES	Investigaciones multidisciplinarias que emplean una metodología ad hoc para un fin concreto y limitadas temporalmente. Poseen los mismos objetivos que las del anterior nivel – en profundidad.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Las investigaciones realizadas tras el fuego en el interior del túnel de Montblanc en 1999.</li> <li>- Autobús con 11 muertos ocurrido el 11 de junio de 2004 cerca de Poitiers en Francia.</li> </ul>

En este último proyecto se ha realizado una mezcla de niveles, dando en España el nivel intermedio a los informes policiales, y añadiendo un ambiguo e indefinido nivel IV para investigaciones especiales.

Al final de este epígrafe, surgen las siguientes preguntas: ¿Se podría pasar del nivel policial avanzado a un nivel en profundidad? ¿Qué sería necesario? Antes de contestar a estas preguntas se requiere un análisis de los motivos, finalidades y objetivos por los cuales se deben investigar los siniestros viales.

## **5. FINALIDADES DE LA INVESTIGACIÓN DE SINIESTROS VIALES**

La investigación de siniestros relacionados con la circulación de vehículos de motor ha sido una constante desde que Mary Ward, una celebrada y reconocida astrónoma y naturalista británica, cayera bajo las ruedas metálicas de uno de los primeros vehículos que circularon por las vías públicas inglesas y resultará muerta al ser arrollada por el mismo. Esto ocurría el 31 de agosto de 1869 en Birr, una pequeña ciudad del Reino Unido (Fallon & O'Neill, 2005). Otros señalan como primer siniestro de la Historia, aquel en el que murió por atropello Bridget Discroll durante una demostración de vehículos de motor celebrada en el Cristal Palace de Londres, pero este suceso ocurrió el 17 de agosto de 1896.

El fenómeno del tráfico está intrínsecamente relacionado con la fabricación y homologación de los vehículos de motor y las piezas que los constituyen. En este campo diversos organismos internacionales, entre los que merece la pena destacar a la Comisión para Europa de las Naciones Unidas (UNECE), han llevado a cabo esfuerzos para armonizar los métodos y procedimientos de trabajo. Siendo el siniestro vial una de las consecuencias negativas, quizás la mayor, de este complejo fenómeno no es de extrañar que se hayan producido intentos de acercamiento de las metodologías de investigación de siniestros y de la uniformidad en la utilización de los datos y conceptos sobre esta materia.

La Organización Mundial de la Salud (WHO), en su Decimonovena Asamblea General llevada a cabo en junio de 1969, se planteó sentar los pilares de una perspectiva internacional de la investigación sobre siniestros de tráfico. Se envió un cuestionario, en inglés y español, a las autoridades competentes de los países miembros de la citada organización en el que se preguntaba sobre las siguientes cuestiones (O'Day & Waissi, 1986):

- La definición de siniestro mortal en el país en cuestión y los procedimientos de informe de este tipo de eventos.
- El límite para informar de siniestros de tráfico no mortales
- El órgano competente para la grabación de los datos sobre siniestros mortales y no mortales, el competente para su compilación y los tipos de informes estadísticos y la frecuencia de su emisión.
- La información sobre estudios o investigaciones realizadas sobre siniestros especiales y su cobertura (geográfica, poblacional,...)
- La información sobre las circunstancias del siniestro, el tipo y severidad de las lesiones, la severidad del siniestro, el lugar, el tiempo y las características de los vehículos y usuarios implicados.

Se enfatizó la necesidad de lograr una uniformidad en la investigación de siniestros. Los esfuerzos han continuado y más recientemente la OMS considera que las medidas necesarias para que exista una reducción eficaz de los traumatismos en el tráfico son:

- Un enfoque científico del problema.
- Un análisis y una interpretación cuidadosa de datos de calidad.
- El establecimiento de metas y planes.
- La creación de capacidad de investigación nacional y regional.
- La cooperación institucional entre los sectores.

En la línea se ha abierto un campo nuevo a la investigación, en todas sus facetas, que es lo que se ha venido a denominar accidentología. Esta disciplina podría definirse como el conjunto de actividades, procedimientos y metodologías de investigación o análisis aplicados al estudio de los accidentes de tráfico y realizados desde distintos enfoques, niveles y dimensiones (Monclús González, 2005).

En un plano clásico, desde el punto de vista de las Fuerzas y Cuerpos de Seguridad con competencias en materia de seguridad vial, se estableció un trio de finalidades en la investigación de siniestros viales (Baker & Fricke, 1986, pp. 10-4; Borrell Vives, et al., 1991, p. 35):

- Establecimiento de responsabilidades por la producción de un siniestro particular concreto a partir de unas diligencias que son entregadas a las autoridades judiciales.
- Prevención de siniestros orientando sus propios servicios y determinando los perfiles de personas o grupos de personas que tenían mayor riesgo objetivo.
- Dotar de datos estadísticos a la Administración y otras instituciones que pueden activar medidas concretas de prevención de lesiones a consecuencia de siniestros. Como ejemplo de este tipo de programas se suelen citar las actuaciones sobre puntos negros.

Ninguno de los tres objetivos debería quedar marginado respecto de los demás (Borrell Vives, 1993, p. 35), ya que su cumplimiento simultáneo permite comprender mejor cómo interactúan las causas.

En las investigaciones en profundidad llevadas a cabo en diversos países desarrollados en Europa, el norte de América y Australia existe un conjunto de objetivos que se repite con habitualidad:

- Determinar la severidad de las colisiones ocurridas en un determinado periodo de tiempo (Shields, et al., 2001, p. 2).
- Profundizar en el conocimiento de la biomecánica de los seres humanos implicados en un siniestro vial y la relación entre los mecanismos lesivos y

las lesiones resultantes (CASR, 2012; Shields, et al., 2001, p. 2; Forman & Hill, 2001, p. 19), con la posible utilización de esta información para mejorar los tratamientos específicos de urgencia y postraumatismo de cada proceso lesional.

- Identificar los factores que contribuyen mayoritariamente a la ocurrencia de los siniestros viales (CASR, 2012).
- Construir perfiles de conductores implicados en siniestros viales para el uso en los estudios de control de casos (CASR, 2012).
- Identificar las localizaciones específicas que necesitan tratamiento (CASR, 2012).
- Determinar las materias del conjunto del sistema de infraestructuras que requieren potenciales políticas de cambio (CASR, 2012). Conocer el comportamiento real de los sistemas de contención de vehículos implementados en las carreteras españolas para mejorar su eficacia de contención.
- Conocer el comportamiento real de los sistemas de protección de ocupantes, ya sean sistemas de retención o sistemas estructurales, y sistemas de protección de peatones que ofrecen los vehículos para mejorar los diseños de los futuros sistemas y crear nuevos dispositivos de protección.
- Comprender mejor y establecer las causas de los siniestros viales (Forman & Hill, 2001, p. 19; Shields, et al., 2001, p. 2).
- Desarrollar una potente base de datos en soporte informático que sirva de herramienta de almacenamiento y consulta de toda la información extraída de las investigaciones realizadas.
- Diseñar las posibles soluciones a los factores y causas (Shields, et al., 2001, p. 2) de tal manera que se optimice la relación coste-beneficio, obteniendo así la mayor rentabilidad social.

Se podrían añadir más objetivos, o incluso incluir objetivos definidos en investigaciones en profundidad de proyectos de investigación de objeto y planteamiento limitados, pero no aportarían mucho más a los que se han expuesto arriba.

## **6. UN SISTEMA SOSTENIBLE PARA LA INVESTIGACIÓN EN PROFUNDIDAD DE SINIESTROS VIALES EN ESPAÑA**

En la revisión realizada de la literatura y de los proyectos de investigación, tanto en América como en Europa, no se ha podido determinar con exactitud en que consiste una investigación en profundidad, aunque si se puede observar una tendencia a una acumulación cada vez mayor de datos sobre las personas implicadas, los vehículos y la vía, como se deduce de los cada vez más prolijos objetivos de los proyectos de investigación y bases de datos.

En el nivel microscópico, en este sistema, prima el papel del equipo de investigación único perteneciente a la policía competente por razón del lugar de ocurrencia del siniestro vial (urbano, interurbano o comunidades autónomas con peculiaridades), tanto en el procesamiento de la escena como en las investigaciones complementarias.

La multidisciplinariedad de la investigación se consigue mediante la creación de una Red Española de Centros Científicos de Referencia (RECECIR) que aglutine a los diferentes sectores de la investigación correspondientes a cada uno de los Subsistemas que componen el Sistema Vial. Estos Centros servirían como apoyo en aquellos aspectos que en cada investigación concreta, o en todas a la vez, sean deficitarios en cuanto a los datos obtenidos, bien por la dificultad de acceso a los datos o bien por la dificultad de aplicación de las técnicas que permiten tener los datos. Por ejemplo, en un Centro asociado al Factor Humano se podría hacer un informe más profundo, incluso con un simulador de conducción, de la percepción, evaluación, reacción y ejecución de un conductor implicado en un siniestro vial; en los Centros asociados a la Ingeniería del Automóvil se podría hacer una inspección técnica del estado mecánico o de la electrónica del vehículo, o en determinados casos del funcionamiento de los sistemas de seguridad activa y pasiva; en los Centros asociados a la Ingeniería de la vía se podrían estudiar la configuración de tramos de carretera o de calles o cruces de ciudades en los que exista una acumulación de siniestros viales para introducir cambios que permitan eliminar las causas comunes a los mismos, como por ejemplo un firme deslizante en condiciones de lluvia, una configuración geométrica de difícil trazado o una colocación inadecuada o desprotegida de un paso de peatones y finalmente, en los Centros asociados al Factor Socionormativo se pueden analizar los problemas que las normas presentan para los conductores, por ejemplo en el cumplimiento de los límites máximos de velocidad o la visión sociológica de la percepción del riesgo de los conductores con respecto a las condiciones y causas habituales de los siniestros viales para mejorar la cultura de seguridad del país.

En España un objetivo realista sería aplicar esta metodología a todos los siniestros viales con víctimas, en un principio al menos a aquellas que presenten lesiones graves que exijan hospitalización lo que supondría una ingente cantidad de información a nivel microscópico. Esta información con los filtros necesarios para cumplir los requisitos de la normativa de protección de datos europea y española podría servir para retroalimentar a los Centros RECECIR para que puedan avanzar en la investigación básica de cada uno de los sectores del saber definidos y simultáneamente para realizar investigaciones especiales sobre determinadas tipologías de siniestros o encaminadas a determinados objetivos específicos como realizar un estudio comparado de la eficiencia de sistemas de seguridad activa o pasiva. De esta forma la I+D+I en sectores clave de la economía española como son la automoción, la ergonomía, las obras públicas, la biomecánica, la epidemiología, la medicina de urgencias, entre otras, podría tener una amplia base de datos reales para progresar. Podría parecer tan solo una bonita utopía, pero realmente no lo es, siempre y cuando, la metodología y los medios humanos y materiales se dimensionen adecuadamente de una forma eficiente para cumplir con aquel ambicioso objetivo.

En la Figura 28 se puede observar un esquema gráfico del sistema propuesto para llevar a cabo investigaciones en profundidad en España.

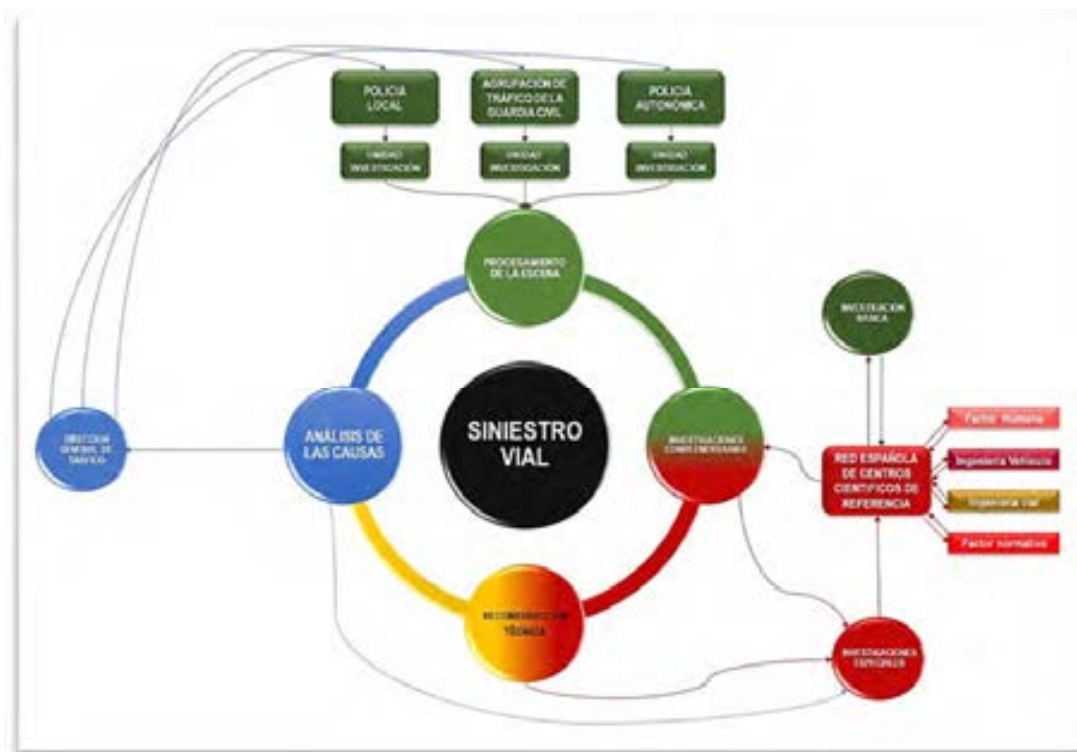


Figura 29: Sistema de investigación en profundidad de siniestros viales en España

La creación, mantenimiento y explotación de bases de datos que recojan la información procedente de investigaciones en profundidad es un método valioso de profundizar en el conocimiento científico de la realidad de los siniestros viales. También es una forma de proporcionar a los fabricantes, a los legisladores y a las personas que establecen normativas y estándares una amplia y profunda visión de la realidad que les permita adoptar mejores y más informadas decisiones en su campo de actuación. Además, la adopción de una aproximación científica a la seguridad vial y la acumulación de información exacta y precisa en bases de datos se han convertido en elementos clave para la mejora de la seguridad vial y para reducir las lesiones de los peatones, usuarios y ocupantes. La información contenida en estas bases de datos será más representativa de la realidad cuanto mayor sea el número de casos que hayan sido investigados y su información compilada y almacenada, lo cual se conseguirá a lo largo de un trabajo de años.

La explotación de esa base de datos correría a cargo de la Dirección General de Tráfico del Ministerio del Interior porque cuenta con los medios materiales y humanos necesarios para aplicar modelos macroestadísticos que aporten luz sobre las interrelaciones que existen entre las diferentes causas y condiciones implicadas en todas las tipologías de siniestros viales o alguna de ellas de forma específica. Esta operación podría hacerse de forma rutinaria sin necesidad de acudir a proyectos específicos que siempre se encuentra limitados en su metodología, en su aplicación temporal, en su ámbito geográfico y en la magnitud de la muestra. Los Planes Estratégico de Seguridad Vial tendrían una base científica mucho más amplia que la actual y la capacidad de seguimiento y cumplimiento del plan a través de la evolución de los indicadores de referencia podrían ser más profunda y precisa.



Las finalidades para las que se tiene que utilizar la información, tal y como se ha expuesto arriba, no tienen por qué ser incompatibles entre sí. Por lo que cada organismo o empresa utilizaría los datos para sus objetivos marcados, así por ejemplo el sistema judicial tendría mayor capacidad para determinar las responsabilidades penales y civiles al disponer de un mayor número de evidencias, testimonios y un relato estructurado científicamente sobre cómo y por qué ocurrieron los hechos, mientras que las instituciones que estudian el Factor Humano dispondrían de datos anónimos sobre el comportamiento real de las personas en la conducción de vehículos y de su papel en la producción de siniestros viales con víctimas.

Finalmente, el sistema aquí expuesto sigue dependiendo de la preparación y formación del personal investigador, ya sea policial o no, de los medios materiales y tecnológicos utilizados, de la inmediatez y continuidad de la investigación, pero quedan despejadas las incógnitas sobre las tipologías de siniestros investigadas, que serían todas, sobre el tamaño de la muestra, que sería universal para siniestros viales con víctimas y el ámbito geográfico de la investigación que sería el territorio español.

## **II. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN DE SINIESTROS**

En toda actividad humana encaminada hacia un fin es necesario establecer una serie de pasos ordenados que aseguran mayor eficiencia y eficacia en el esfuerzo empleado. La investigación de accidentes de tráfico no es una excepción. En todo el mundo existen investigadores pertenecientes a la policía, órganos judiciales, organismos públicos de seguridad, compañías aseguradoras y diseñadores de vehículos que tienen que seguir una serie de normas para asegurarse unos resultados fidedignos. En este punto las diversas perspectivas de análisis del accidente de tráfico alcanzan un punto culminante, porque en cada una de ellas los objetivos a alcanzar son diferentes. Aun con esta matización, deben sentarse las bases de un procedimiento común de investigación que asegure, por un lado, una mayor riqueza cuantitativa y cualitativa de los datos recogidos, y por otro lado, un análisis riguroso de las evidencias que permita deducir racionalmente el mecanismo de producción de accidentes. Este método debe ser común, al menos en su mayor parte, a todos los investigadores de accidentes de tráfico independientemente de su concreta adscripción científica o técnica.

Se debe diferenciar entre un método teórico, de aplicación general, que contenga una detallada y flexible articulación de procedimientos, y un método práctico, de aplicación concreta en una institución o en investigadores particularizados, que sea la plasmación de dicho método a la realidad material de medios y personal disponible. El tiempo disponible y el coste de la investigación son los factores determinantes en la mayor o menor implantación de un método de investigación.

### **1. ESTADO DEL ARTE**

La evolución del método teórico de la investigación de accidentes de tráfico se ha centrado más en el desarrollo y descripción de las tareas a realizar, que en la propia esencia de la investigación como proceso ordenado y racional que busca un fin concreto.

En un estudio realizado por medio de encuestas entre investigadores de diversas instituciones norteamericanas sobre la metodología empleada para investigar diversos tipos de siniestros se observó que no existía ningún tipo de consenso sobre cuál era el mejor método para investigar ese tipo de fenómenos. Además, la elección del método era generalmente una cuestión intuitiva y a los investigadores no les resultaba fácil aportar argumentos que justificaran razonablemente su elección (Benner, 1980). Después, de consultar la metodología seguida, en la actualidad, en la mayoría de los proyectos europeos de investigación en esta materia puede verse que la situación es bastante similar.

El núcleo conceptual de la investigación nos la brinda la diferenciación semántica existente entre los términos informar e investigar (Borrel Vives, et al., 1991, p. 157):

- Informar consiste en obtener y registrar los datos de forma objetiva al objeto de conocer las circunstancias del accidente, tales como el punto donde tuvo lugar el siniestro vial, cuándo, quiénes eran las personas afectadas, lesiones de las víctimas, que vehículos estaban implicados, estado de los mismos, o las circunstancias de la vía. El informe en cuestión no incluye conclusiones y opiniones sobre las causas o las posibles infracciones de los implicados, sino solamente los datos esenciales de carácter meramente objetivo.
- Investigar es analizar un suceso, relacionando los detalles y circunstancias que concurren en el mismo, para tratar de explicar la causa y como se produjo ese hecho. La investigación es, pues más amplia que la información, ya que no sólo consiste en recopilar datos, sino en forma opiniones. Fruto de la investigación es el conocer la causa o causas de los siniestros viales.

A partir de esta diferenciación básica se abre un amplio abanico de metodologías que con diversas variantes desarrollan esta materia.

### **1.1 La metodología clásica**

Los métodos de reconstrucción de eventos utilizan las evidencias físicas dejadas en la escena después del siniestro vial, las entrevistas con testigos y las hipótesis del investigador para reconstruir la secuencia de los eventos que se establecen como el completo desarrollo del siniestro. Este tipo de metodologías están basadas, principalmente, en las disciplinas y las técnicas de análisis de la ciencia física (Benner, 1980, p. 30).

La referencia clásica en cuanto a los niveles de la investigación de accidentes de tráfico, utilizada por los investigadores de nuestro país pertenecientes a las más diversas instituciones, la constituye el Manual del Instituto de Tráfico de la Universidad de Northwestern que diferencia cinco niveles en las actividades en que se desarrolla la investigación de un siniestro vial (Baker & Fricke, 1986, pp. 10-6; Rivers, 2006, p. 12; Paez Ayuso, 2011):

- *Nivel I: información.*

Consiste en la colección de datos y su vertido en un impreso o formato más o menos convencional. No contiene ningún tipo de opiniones. Cualquier accidente conocido, debería ser, al menos, registrado de este modo.

- *Nivel 2: investigación en el escenario.*

Implica la toma de datos que con posterioridad van a desaparecer, o que necesitan un estudio suplementario. No se requieren conclusiones. Algunos datos pueden ser reflejados en impresos predeterminados, pero otros los son mediante fotografías o mediciones. Para llevar a cabo las diversas tareas es necesario una cierta preparación sobre (Baker & Fricke, 1986, pp. 10-6):

- Test de intoxicación alcohólica.
- Busca y hallazgo de posibles testigos.
- Descripción y medición de huellas.
- Medición de posición final de vehículos y cuerpos.
- Obtención de fotografías.
- Examen de cualquier tipo de señalización.
- Realización de un primer examen para casar las huellas con el elemento del vehículo que las produjo.
- Examen de las medidas de seguridad adoptadas por los ocupantes.

Esta es una de las más importantes partes de todo el proceso de la investigación del siniestro vial. En muchos casos, el éxito o el fracaso de todas las fases posteriores de la investigación, incluyendo la reconstrucción, depende casi completamente de las evidencias recogidas (Rivers, 2006, p. 13).

- *Nivel 3: seguimiento técnico.*

Implica la acumulación de datos de fuentes técnicas u organizaciones que pueden servir a la finalidad de la investigación. Generalmente sólo es válida para finalidades legales u otros propósitos específicos.

Se realizarán las siguientes tareas por personal con preparación suficiente (Baker & Fricke, 1986, pp. 10-6):

- Mediciones para la preparación del croquis.
- Mediciones de grados, obstrucciones visuales, coeficientes de adherencia o saltos.
- Observación de la visibilidad de vehículos, peatones, señales, en determinadas condiciones de visibilidad.
- Mediciones de la velocidad de los vehículos y peatones en determinadas condiciones.
- Examen de lámparas, neumáticos y restricciones relativas a ocupantes.
- Análisis de restos de pintura y cristales.
- Dibujo del croquis, situación de huellas en el mismo.
- Determinación de la velocidad crítica. Estimación de velocidades de huellas de frenada o fricción.
- Direcciones de líneas de fuerza.
- Determinación del momento límite de funcionamiento de los neumáticos.
- Determinación del funcionamiento de las luces.

Hay, desde luego, otras funciones no descritas y, además, no todas las personas pueden realizar las tareas adicionales, como por ejemplo, las autopsias o el contraste de pinturas.

– *Nivel 4: reconstrucción especializada.*

La reconstrucción especializada consiste en el esfuerzo por determinar a partir de cualquier información disponible, como sucedió el siniestro. Esta tarea implica poner juntas piezas de información, simplemente pensando sobre los hechos disponibles. Algunos de estos hechos están basados en observaciones de los resultados de un siniestro concreto; otros del examen y análisis de la vía, los vehículos y las personas implicadas y otros del conocimiento general de las ciencias básicas.

Las conclusiones de esta actividad toman, generalmente, la forma de afirmaciones en relación con (Baker & Fricke, 1986, pp. 10-7):

- La velocidad.
- Las posiciones de los vehículos y los peatones durante el impacto.
- Cómo se producen las lesiones.
- Quién era el conductor
- Cómo las condiciones de la carretera, del conductor y del vehículo contribuyen a un siniestro en particular.
- Descripción de la estrategia y las tácticas de los conductores.
- Como un conductor en particular o un peatón podrían haber evitado el siniestro vial.

Para realizar estas tareas se requieren las siguientes competencias:

- Calcular pérdidas de energía e intercambios de movimientos para detener vehículos.
- Realizar diagramas de momentos y los subsiguientes cálculos.
- Analizar los movimientos de los vehículos y los cuerpos en la colisión.
- Comparar las estrategias y tácticas posibles y las reales.
- Estimar los retrasos en la percepción de conductores y peatones.
- Diseñar experimentos sobre el comportamiento del peatón o del conductor.
- Diseñar experimentos para determinar el funcionamiento del vehículo.

La reconstrucción a este nivel aplica el proceso genérico de resolución de problemas, aplicando los principios de la física y la dinámica vehicular para evaluar las evidencias recogidas en las fases anteriores. A veces se llevan a cabo experimentos para determinar variables o parámetros (Rivers, 2006, p. 13).

– *Nivel 5: análisis de las causas.*

Implica el esfuerzo encaminado a la determinación, desde la información disponible, del por qué se produjo el accidente, esto es, la completa combinación de las circunstancias que causaron el fallo en el complejo sistema de la circulación.

El investigador debe estar preparado para poder establecer la contribución de la carretera o del vehículo a la ocurrencia del siniestro vial y a las lesiones; la repercusión

de las peculiaridades de la personalidad en la ocurrencia del siniestro o de las lesiones; la contribución de las condiciones temporales de la vía, tiempo o vehículo al siniestro; la aportación de las condiciones temporales del conductor y las combinaciones de errores en la maniobra evasiva.

Esta metodología es la que siguen en su mayor parte todos los cuerpos policiales que investigan siniestros viales en España.

## **1.2 La metodología de la Escuela de Tráfico de la Guardia Civil**

La metodología norteamericana paso, simplificada, al Manual de Investigación de la Escuela de Tráfico con una estructura cuatrirforme conformada como (Borrel Vives, et al., 1991, p. 162):

- Recogida de datos. Fase en la que se anotan todos los datos relativos a personas, vehículos, carretera, condiciones atmosféricas y todas aquellas huellas que queden en la vía o fuera de ella.
- Estudio de los datos. Todos los datos recogidos en la fase anterior deben ser estudiados, con el fin de establecer las posibles hipótesis sobre las causas y circunstancias del siniestro.
- Reconstrucción del siniestro. Consiste en deducir lo ocurrido partiendo de los hechos objetivos que se han logrado reunir.
- Causas que determinaron el siniestro. Con una doble finalidad determinar el presunto responsable legal y que se puedan adoptar las medidas que pueden evitar que se repitan los hechos en el futuro.

Aunque básicamente, la distribución de tareas y actividades en los diferentes niveles, sigue siendo válido, es preferible desde un punto de vista propedéutico la distribución realizada por el Coronel de la Guardia Civil, Maximiliano Lasen Paz, quien ocupó el puesto de Jefe de Estudios de la Escuela de Tráfico de la Guardia Civil. La actividad necesaria para realizar una investigación en esta materia se agruparía en dos procesos sucesivos, diferenciados y complementarios: por un lado, el proceso material de la investigación; y por otro, el proceso intelectual. No quiere decir esta separación que durante el proceso material del accidente no se requiera un esfuerzo intelectual, sino que durante una u otra fase prima más la faceta analítica y reflexiva del ser humano.

Dentro de los procesos de la investigación tenemos las siguientes tareas a realizar (Lasen Paz, 1995):

– Proceso material :

- a) Recogida de datos.
- b) Tareas de gabinete.
- c) Tareas de laboratorio.

– Proceso intelectual:

- d) Reconstrucción técnica.
- e) Análisis de las causas.

Como puede observarse esta clasificación es muy semejante a otras anteriormente expuestas, quizás la diferencia introducida viene determinada por el lugar y la persona donde se deben recoger y manipular los datos necesarios para poder alcanzar conclusiones razonables, por ejemplo, las tareas de gabinete son llevadas a cabo por los propios equipos de investigación policiales, cada vez con medio técnicos más avanzados, mientras que las de laboratorio, solo están al alcance de cuerpos policiales de grandes dimensiones o de instituciones forenses oficiales.

### 1.3 La metodología de los proyectos europeos

En 1996, la Asociación Europea de Fabricantes de Automóviles (*European Automobile Manufacturers Association, ACEA*) puso en marcha, en tres fases, el Estudio Europeo sobre Causas de los Siniestros (*European Accident Causation Study, EACS*) que fue coordinado por el Centro Europeo de Seguridad y de Análisis de los Riesgos (*Centre Européen de Sécurité et d'Analyse des Risques, CEESAR*), con el objetivo de ampliar el conocimiento existente sobre las causas de siniestros viales (Chenisbest, et al., 1998, p. 415).

En Francia, participó en el estudio EACS, también, el Instituto Nacional de Investigación sobre los Transportes y la Seguridad (*Institut National de Recherche sur les Transports et la Sécurité, INRETS*) desarrolló su propia metodología de la investigación. El origen inmediato de ese método es el estudio en profundidad de siniestros viales (*Enquêtes Détaillées d'Accidents, EDA*) llevado a cabo en los años ochenta en la localidad francesa de Salon de Provence, a la sazón sede del Departamento de Mecanismos de Accidentes del INRETS (Brenac, 1997; Chenisbest, et al., 1998, p. 417).

La metodología de recolección de datos del INRETS implica desplazarse a la escena del siniestro inmediatamente después de ocurrir este y recoger la información relevante definida en su sistema, aunque se pueda realizar una investigación complementaria y más detallada con posterioridad (Vallet, et al., 1999, p. 18).

Después proceso de reconstrucción explica cómo se produce el desarrollo espacio-temporal de la secuencia del siniestro, utilizando los datos recogidos en la escena del evento, la información procedente de las declaraciones de las personas implicadas y de los testimonios de los testigos y el análisis del resto de evidencias.

El método para llevar a cabo una reconstrucción cinemática del siniestro puede resumirse de la manera siguiente:

- Llevar a cabo una fase preparatoria.
- Establecer el listado de secuencias del siniestro.
- Realizar el planteamiento del problema cinemático.
- Determinar el camino lógico para realizar la reconstrucción.

- Definir los escenarios individuales.
- Analizar la coherencia global de la reconstrucción

Una vez establecida la secuenciación de las fases del siniestro y determinados los parámetros de los estados primarios y secundarios a través de la reconstrucción cinemática, el método INRETS reanaliza los datos para establecer los factores que están presentes en la génesis o en el desarrollo del siniestro. Por este motivo se diferencia entre factores accidentológicos, por un lado, y factores de gravedad, por otro (Campón Domínguez, 2011, p. 43).

A finales de los años noventa, el proyecto de *STAIRS* se planteó, dentro del objetivo de creación de una base de datos en profundidad, la información que tenía que recogerse de un siniestro vial, los métodos de recogida y registro de esa información, su precisión y la validación de todo el proceso (Vallet, et al., 1999, p. 5). Analizó la metodología utilizada en el Reino Unido (CCIS, OTS), en Francia (INRETS) y Alemania (MUH), para concluir con un conjunto de recomendaciones que buscaban conseguir trazar un camino para construir una futura base de datos en profundidad europea.

En el Reino Unido había varios antecedentes sobre investigaciones en profundidad, entre las que destaca el Estudio Cooperativo de Lesiones de Siniestros (*Co-operative Crash Injury Study, CCIS*) que, desde 1983, había estado realizando estudios e investigaciones con una metodología retrospectiva en una pequeña área.

Con el nuevo siglo se desarrolla el proyecto de investigación En el Punto (*On the Spot, OTS*) que aplica una metodología basada en el procesamiento por el equipo de investigación de la escena del siniestro vial y una posterior ampliación de datos con la que se pretendía superar las limitaciones del método retrospectivo (Forman & Hill, 2001, p. 18). Este proyecto era fruto de los esfuerzos convergentes del Centro de Investigación sobre Seguridad del Vehículo (*Vehicle Safety Research Centre, VSRC*) de la Universidad de Loughborough y del Laboratorio de Investigación sobre el Transporte (*Transport Research Laboratory, TRL*) de Londres.

Originalmente, se determinaron cuatro niveles para albergar una amplia gama de volatilidad de las evidencias en el lugar del siniestro para desarrollar un procesamiento secuencial de la escena (Morris, et al., 1999, p. 21), pero posteriormente se redujeron a tres (Thomas, et al., 2001, p. 5). Para cumplir eficientemente este protocolo, se preparó una biblioteca de alrededor de doscientos formularios OTS para cubrir todas la eventualidades del siniestro y los datos relativos al vehículo, las víctimas y el entorno de la vía. Un objetivo clave es conseguir recoger en pocos minutos los datos volátiles del siniestro que están presentes en esa escena postimpacto. Los formularios son estructurados de acuerdo con los niveles de prioridad definidos de tal forma que los investigadores comiencen por la información menos estable y progresivamente puedan ir añadiendo tantos datos como sea posible, de tal forma que los niveles dos y tres se adquieren con las actividades complementarias en los días siguientes (Thomas, et al., 2001; Hill & Cuerden, 2005, p. 30).

En el marco del procedimiento determinado, los equipos recolectan la información y graban en video o dejan constancia en fotografía de las evidencias presentes en la escena

del siniestro. Los usuarios vulnerables de la vía son tratados primero, seguidos por las evidencias volátiles en la vía tales como las huellas, las marcas y los daños en la infraestructura. Los vehículos son estudiados y analizados de menor a mayor tamaño. Se toman las medidas detalladas del entorno de la vía y toda la información relevante se graba en un plano de la escena. Finalmente, el resto de la información relevante es recogida si las condiciones espaciotemporales de la escena lo permiten (Forman & Hill, 2001, p. 23)

En 2008 se realizó un estudio externo de la base de datos resultante y de los procedimientos utilizados que se materializó una propuesta de recomendaciones para introducir cambios en el Protocolo OTS de recolección de datos en investigaciones (Mansfield, et al., 2008, p. 63).

En Alemania, el proyecto STAIRS lo llevo a cabo la Universidad Médica de Hannover (MUH) en solitario como institución capaz de desarrollar su propia metodología de la investigación. En julio de 1999, vio la luz un nuevo proyecto de investigación en profundidad sobre siniestros viales, en el que también participaba dicha universidad junto a la Universidad Técnica de Dresden (TU-Dresden). De ahí nació el Estudio Alemán en Profundidad sobre Siniestros viales (*German In-depth Accident Study, GIDAS*) cuya metodología, especialmente, en los aspectos médicos y recogida de datos de víctimas ha tenido bastante influencia en los proyectos llevados a cabo en esta materia en Europa.

Un grupo de expertos se encargaba de recoger los datos primarios relativos a la seguridad del vehículo (Seeck, et al., 2009, p. 3). El equipo MUH aplica técnicas avanzadas para la recogida de datos, un ejemplo de las cuales es la fotogrametría tridimensional láser para la medida de la escena del siniestro y de las deformaciones de los vehículos. En total, de cada siniestro vial se recoge una media de 2.000 datos (Monclús González, 2005, p. 134). Es también distintivo de esta metodología la recogida de datos sobre las lesiones de las víctimas por parte de un médico que forma parte del equipo de investigadores en la escena de los hechos.

A partir del conjunto de datos recogidos en la escena del siniestro como la documentación de todas las huellas de neumáticos, la posición final de los vehículos y sus perfiles de deformaciones se pueden reconstruir los movimientos de las víctimas durante la fase de colisión y determinar la velocidad de los vehículos (Seeck, et al., 2009, p. 3).

En la metodología de investigación, el MUH lleva a cabo reconstrucciones por ordenador de los accidentes utilizando el programa PC-Crash, para poder determinar de este modo las velocidades de circulación, así como las velocidades de impacto y el comportamiento de los vehículos (Monclús González, 2005, p. 134).

Desde 2008, en el análisis de las causas del siniestro se utiliza, teniendo en cuenta la información sobre el comportamiento psicológico de cada uno de los implicados, un nuevo sistema basado en el modelo de siete pasos, también denominado ACASS (*Accident Causation Analysis with Seven Steps*). Se ha desarrollado un sistema jerárquico, que describe los factores causales asociados al ser humano en una secuencia cronológica, a partir de la percepción hasta los errores concretos en las acciones,



considerando la secuencia lógica de las funciones humanas básicas cuando reaccionan a un peligro o una situación anómala (Seeck, et al., 2009, p. 3).

La Asociación de Fabricantes Europeos de Motocicletas (*Association of European Motorcycle Manufacturers, ACEM*), con el soporte financiero de la Comisión Europea, llevó a cabo una amplia investigación en profundidad sobre los siniestros viales en los cuales estaban implicadas motocicletas y ciclomotores durante el bienio 1999-2000 en cinco áreas geográficas localizadas en Francia, Alemania, Holanda, España e Italia (ACEM, 2004, p. 9).

En los cinco países, los equipos de investigación que procesaban la escena de los siniestros viales utilizaron la misma metodología, que fue desarrollada por la OCDE, para poder mantener la consistencia de los datos que se recogían en cada país (ACEM, 2003, p. 8). Este proyecto utilizaba el apoyo de una plantilla electrónica de base de datos (*Electronic Database Template, EDT*) para grabar la información recogida en un formato electrónico (ACEM, 2003, p. 24).

Una vez que se completa la investigación en la escena, cada equipo lleva a cabo una reconstrucción detallada y un análisis de causas del siniestro vial describiendo todas sus fases y todas las causas potenciales. Se determinan, también, los movimientos precolisión de la motocicleta, de su conductor, de su pasajero, en su caso, y de todos los vehículos implicados y se identifican las maniobras de evitabilidad de la colisión. Se utilizaron las técnicas tradicionales de reconstrucción de siniestros para calcular las velocidades precolisión y de impacto de todos los vehículos (ACEM, 2004, p. 14).

El Proyecto MAIDS (*Motorcycle Accidents In Depth Study*) de investigación en profundidad de siniestros viales en los cuales están implicados vehículos de dos ruedas se llevó a cabo por ACEM en el año 2004. En este proyecto se realizó una clasificación de las causas atribuidas al factor humano agrupándolas de acuerdo con los cuatro mecanismos de procesamiento de la información que han servido de modelo del comportamiento del conductor. En esta investigación en profundidad de las colisiones en las cuales estaban envueltas motocicletas o ciclomotores se obtuvieron los siguientes resultados tanto para los conductores de vehículos como para los conductores de motocicletas (ACEM, 2004, p. 84):

Tabla 12: Causas del siniestro vial en el proyecto MAIDS

Fallo humano primario	Motociclistas	Conductores vehículos
<b>Percepción/atención</b>	11,9 %	36,5 %
<b>Intelección /comprensión</b>	3,6 %	1,4 %
<b>Decisión</b>	13,0 %	9,9 %
<b>Reacción</b>	5,5 %	0,2 %
<b>Otras</b>	2,9 %	2,4 %
<b>Total</b>	37,1 %	50,4 %

El proyecto de investigación sobre las Causas de los Siniestros de Camiones en Europa (*European Truck Accident Causation, ETAC*), fue llevado a cabo en diferentes países bajo la coordinación del centro francés CEESAR (*Centre Européen d'Etudes de Sécurité et d'Analyse des Risques*) en la mitad de la primera década de nuestro siglo.

La metodología utilizada abarcaba la investigación en la escena del siniestro, el análisis de la información recogida y la reconstrucción (CEESAR, 2007, p. 12).

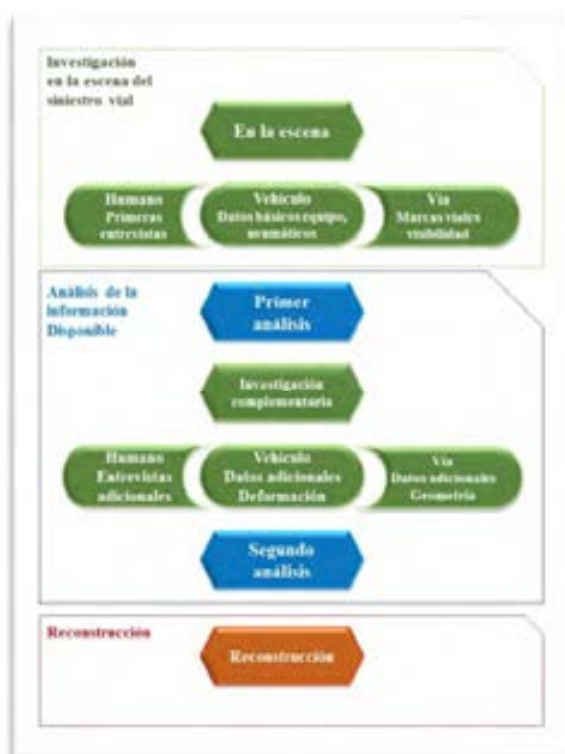


Figura 30: Esquema de la metodología de la investigación utilizada en CEESAR

La investigación en la escena del siniestro vial se basa en tres investigadores diferentes: el primero, realiza las entrevistas a los conductores y testigos; el segundo, analiza los vehículos y, el tercero, obtiene información sobre la configuración de la vía, las marcas, la señalización y la visibilidad.

El análisis de la información se realiza en dos análisis sucesivos, a partir del primero se determinan las investigaciones adicionales que se tienen que realizar principalmente, las entrevistas a personas que resultaron heridas, la codificación de las deformaciones de los vehículos y la geometría de la vía.

La información recolectada por los tres investigadores se utiliza como base para una reconstrucción dinámica con la aplicación PC-Crash o cualquier otra. Las ecuaciones de conservación de la energía sirven para el cálculo de la estimación inicial de los parámetros dinámicos. Los mapas escalados 3D sirven como fondo para una reconstrucción que comienza en las posiciones finales de los vehículos, y retrocede en el tiempo a través de las fases de postimpacto, impacto y preimpacto (CEESAR, 2007, p. 15). El informe médico de las víctimas, que se obtiene en el hospital local, es utilizado para correlacionar las lesiones ocasionadas por el siniestro con el mecanismo lesional y las zonas de impacto interiores y exteriores del vehículo.

Además, aunque lo considera fuera del esquema de la metodología de la investigación realiza un análisis de las causas siguiendo un modelo secuencial del siniestro vial que se basa tanto en el tipo de siniestro como en su secuencia de eventos.

El proyecto SafetyNet comenzó en 2004, y se produjo un encuentro entre las entidades participantes en él con aquellas que llevaban a cabo simultáneamente el proyecto ETAC para definir posibles sinergias en las actividades de ambos en los campos de los estudios de causas de los siniestros, las metodologías de la investigación y el diseño de bases de datos (Brace, 2005, p. 41).

En este proyecto, cada institución participante utiliza su propio método de recolección de datos, aunque se intentó realizar una homogeneización a través de reuniones ad hoc. En esas reuniones se enfatizó mucho la importancia de llevar a cabo entrevistas a los implicados en el siniestro para mejorar los datos sobre los factores causales (Paulsson, 2005, p. 9). De esta forma se llega a un conjunto de variables iguales en cada institución para homogeneizar la introducción de datos en la base diseñada.

La metodología de la investigación seguida fue la siguiente (Paulsson, 2005, p. 41):

- Recolección de la información sobre el siniestro vial.
- Desplazarse inmediatamente a la escena, hacer las entrevistas, realizar las medidas, tomar las fotografías, hacer los croquis, etc.
- Llevar a cabo la investigación en el menor tiempo posible (unas pocas horas después de los hechos) para tomar medidas, tomar fotografías, etc.
- Ejecutar una investigación retrospectiva, que se traslada a la escena un día o dos después de la investigación, para tomar medidas, fotografías.
- Pueden, también, incluirse informes policiales o similares para obtener tantos datos como sea posible.
- Entrada de datos generales en la base.
- Llevar a cabo el análisis de caso.
- Realizar el trabajo de reconstrucción, tanto a través de cálculos básicos o a través de programas de simulación.

El método utilizado para el análisis de las causas en cada caso fue llevada a cabo con *SNACS* que se basa en otro método preexistente denominado *DREAM* (Paulsson, 2005, p. 9).

Otro estudio en profundidad simultáneo con dos de los anteriores, STAIRS y EACS, fue el proyecto de Base de Datos Coordinada Paneuropea de Siniestros y Lesiones (*Pan-European Coordinated Accident and Injury Databases, PENDANT*) que intentaba resolver algunos de los aspectos claves no tratados en ellos como pueden ser los métodos para calcular la severidad de la colisión, la estimación de la reducción de las muertes por un determinado avance tecnológico y, lo que resulta más interesante en este epígrafe, los

métodos para recoger una descripción detallada de las lesiones sufridas por las víctimas (Thomas, et al., 2006, p. 1).

El protocolo básico de recogida de datos, incluyendo la especificación de los datos básicos que se reunieron, se basaba en el desarrollado en el proyecto STAIRS, que ha sido tratado antes, y que estuvo finalizado en marzo de 1999. Se refiere principalmente a la seguridad pasiva. Se utilizaron básicamente los mismos formularios de recogida de datos, pero algunos se habían actualizado para tener en cuenta los avances tecnológicos. Se incluyeron algunos campos adicionales para proporcionar una visión general de la causalidad de los eventos del siniestro, aunque no en gran detalle, ya que este no era el objetivo principal del proyecto PENDANT (Lenard, et al., 2006, p. 2).

En este proyecto se intentó desarrollar un método para incorporar los datos de la evaluación de severidad de las lesiones de ocupantes de vehículos y peatones realizados en los hospitales que los atendieron en tres países Francia, Holanda y España. En el caso de España los datos obtenidos reflejan un éxito relativo de este método (Thomas, et al., 2006, p. 63).

Se editó una Guía de Reconstrucción del Siniestro que fue escrita pensando, en primera instancia, en ayudar a la estructuración de la actividad de recolección de datos en el proyecto (Thomas, et al., 2006, p. 21), pero que después se utilizó para otros fines como la evaluación del impacto de las nuevas tecnologías en la reducción de la probabilidad de implicarse en un siniestro vial. En este proyecto no se hace uso de ningún tipo de análisis de las causas de los siniestros viales.

El Instituto Universitario de Investigación del Automóvil (INSIA) de la Universidad Politécnica de Madrid, que participó activamente en el proyecto PENDANT, realizó en España un proyecto propio denominado ABIDA que consistió en un estudio accidentológico, biomecánico y dinámico de atropellos de peatones. La investigación fue fundamentalmente realizada en la escena del atropello por un equipo del INSIA, además contaron con los datos aportados por la Policía Municipal de Madrid, el Servicio de Asistencia Municipal de Urgencia y Rescate (SAMUR) y el Hospital Doce de Octubre de Madrid (Aparicio, et al., 2005, p. 3).

Su metodología básica tiene en cuenta unas fuentes primarias de información que son:

- El Estudio in situ del escenario del siniestro y de las evidencias físicas del mismo dejadas sobre la calzada y otras áreas afectadas.
- El estudio de los vehículos siniestrados y los daños originados por la o las colisiones sufridas.
- Testimonios de implicados y testigos
- Diagnósticos médicos sobre las lesiones producidas

A estas informaciones pueden añadirse otras complementarias como son las características constructivas de las vías y otros elementos de la infraestructura, de los vehículos, sus sistemas y componentes, de los datos biomecánicos acerca del

comportamiento del cuerpo humano frente a acciones dinámicas y otras de interés particular en el siniestro (Aparicio Izquierdo, et al., 2002, p. 111).

Con posterioridad se realiza la reconstrucción del siniestro, con un planteamiento basado en la formulación de hipótesis que son confirmadas o refutadas por los hechos y evidencias. En el proyecto ABIDA se realizaron simulaciones de los atropellos con PC-Crash (Aparicio, et al., 2005, p. 12) o con MADYMO (Fernández Muñoz, 2007, p. 51) . Como colofón se realiza un análisis de las causas y factores.

El proyecto de Causas del Accidente de Tráfico en Europa (*TRaffic Accident Causation in Europe, TRACE*) discurrió entre 2006 y 2007 buscaba ahondar en el desarrollo de sistemas inteligentes de transporte en vehículo y carreteras, especialmente en el campo de la seguridad vial. Contó con dieciséis socios, a tiempo completo, y seis subcontratistas.

No presta mucha atención a las metodologías de recogida de datos en la escena y de la información complementaria. En cambio se centra en los modelos y métodos de análisis de las causas de los siniestros.

TRACE intentó encontrar un método que pueda combinar los datos en profundidad de siniestros viales y la información de las bases de datos nacionales o internacionales para poder intentar estimar la prevalencia de los factores determinados en la investigación en profundidad para poder extrapolar las conclusiones al número total de siniestros viales (Page & Hermitte, 2007, p. 7).

Este proyecto aporta considerables mejoras en las metodologías aplicables a la investigación de siniestros en los campos de los factores humanos, estadísticos y epidemiológicos, permitiendo una mejor comprensión de los aspectos relacionados con la colisión y, además, permite cuantificar los beneficios de seguridad esperados por las aplicaciones de seguridad presentes o futuras (Page, et al., 2009, p. 14).

El último, hasta ahora, de esta lista es el proyecto DaCoTA que finalizó en 2012 y que pretendía continuar y consolidar una metodología común de investigación en profundidad de siniestros viales en Europa.

La Red Paneuropea de Investigación en Profundidad de Siniestros, la “Red”, está compuesta por 22 equipos de investigación que tienen sus bases en 19 diferentes países europeos. Una de las herramientas de la “Red” es el sistema de investigación de siniestros DaCoTA, que está compuesto de dos elementos la base de datos basada en una página web y el manual online (Hill, et al., 2012a, p. 5).

En el proyecto DaCoTA se diseñó un plan de muestreo para que sea posible realizar, en el futuro, investigaciones en el lugar del siniestro que representen significativamente a todos los tipos de siniestros viales ocurridos en las carreteras públicas de Europa, que cubra adecuadamente todas las horas del día, todos los días de la semana y todos los niveles de gravedad de las lesiones (Hill, et al., 2012, p. 20).

La metodología DaCoTA se realiza a través de la investigación en la escena, de las investigaciones retrospectivas, del análisis de causas del siniestro vial y de su

reconstrucción. Su descripción detallada puede ser consultada en un Manual online (Chalmers University of Technology, 2013).

El objetivo de la inspección de la escena y de la vía es registrar la información que describe la localización del siniestro, tales como las características de la vía y las condiciones del tráfico. Es vital para tener una completa comprensión de los eventos del siniestro, del escenario que conduce a ese resultado y de cualquier factor causal para poder dirigir mejor la investigación en su conjunto.

Esta inspección intenta procesar la información disponible que permita completar todos los campos de la base, lo cual incluye:

- Un protocolo de realización de las fotografías de la escena del siniestro, del entorno de la vía, de las trayectorias de aproximación y de las huellas.
- Un croquis detallado de la escena del siniestro.
- La información general de la vía.
- La descripción de infraestructuras de los VRU.
- Las características de la vía y su entorno.
- La identificación y descripción de cualquier objeto afectado por la colisión.

En otros proyectos se ha hecho referencia al uso de procedimientos que sirven como guía y ayuda en la investigación, en el proyecto DaCoTA se utilizaron, principalmente los siguientes formularios: inspección de bicicleta, inspección de autobús, inspección de turismo, guion de entrevista rápida por teléfono, entrevista, inspección de la escena, entrevistas en la escena, inspección de la vía en la escena, documentación adicional de la vía en la escena, inspección vehículos dos ruedas, reconstrucción, usuarios menores de edad e inspección de camión.

Para realizar el análisis de las causas se utiliza la metodología DREAM que también sirve para codificar las causas de cada siniestro vial de una forma uniforme y comparable (Hill, et al., 2012, p. 125). Es bastante significativo que el análisis de las causas precede a la reconstrucción.

El propósito de la reconstrucción del siniestro es permitir a los investigadores comprender mejor el desarrollo de los eventos. Una parte importante de los datos recogidos son útiles para llevar a cabo la reconstrucción, pero resulta crucial que sean registrados con calidad, lo cual incluye un croquis a escala que incluya todos los datos relevantes; fotografías de la vía, de las trayectorias de los usuarios, de los objetos con los que se colisionó y de las deformaciones; información de los testimonios de los usuarios; una secuencia de los eventos, tal y como los investigadores establecieron que sucedieron, y las medidas de las deformaciones de los vehículos (Hill, et al., 2012, p. 126). Las eventuales conclusiones alcanzadas pueden permitir a los investigadores hacerse una idea de los factores causales que contribuyen al siniestro y el análisis de la colisión resultante.



## 2. METODOLOGIA AVANZADA DE INVESTIGACIÓN DE SINIESTROS VIALES

Una metodología propia de la investigación de siniestros viales, que pretenda ser avanzada, no puede romper con el pasado ni con la formulación clásica de Baker, pero es necesario tener en cuenta la evolución de la metodología obrada a lo largo de los proyectos de investigación en profundidad desarrollados en Europa o en alguno de los países que la conforman.

Por otro lado, se ha afirmado en este trabajo, al establecer el marco conceptual de MOSES, que la metodología debería adaptarse al modelo de siniestro para conseguir que los datos que se recojan y registren en la escena de los hechos y a lo largo de toda la investigación sean los que se necesitan para poder llegar, en la mejor de las posiciones posibles, a establecer cómo y por qué sucedió el siniestro vial

Las fases de esta metodología avanzada propia que mejor se cumplen con los requisitos y restricciones formuladas son las siguientes:

- Procesamiento de la escena del siniestro de acuerdo con el procedimiento MITOS.
- Información complementaria sobre cada uno de los subsistemas del Sistema Vial.
- Reconstrucción técnica de acuerdo con el modelo MOSES.
- Análisis de las causas.

Esta metodología puede representarse gráficamente de acuerdo con el esquema siguiente:



Figura 31: Representación gráfica de la metodología de la investigación de siniestros viales

Los resultados de esta metodología deben ir siendo incluidos en la hoja Excel de MOSES que sirve para almacenarlos y registrarlos y además es la base de realización de la reconstrucción técnica y del análisis de causas.

Esta metodología, que a continuación se desarrolla, pretende abordar el siniestro vial desde una perspectiva científica, en un plano eminentemente microinvestigativo con un nivel avanzado en profundidad de investigación.

### **3. PROCESAMIENTO DE LA ESCENA DEL SINIESTRO**

La Criminalística es una ciencia que tiene como objeto la determinación de la existencia de un hecho criminal, la recogida de evidencias e indicios y la identificación de los autores mediante la aplicación de métodos científicos de laboratorio, así como la elaboración de los informes periciales correspondientes (Campón et al.,2009).

Ni en la metodología clásica, ni en los proyectos europeos se ha propuesto, o puesto en práctica, la aplicación de los principios y técnicas de la Criminalística a la investigación de siniestros viales. En esta tesis cobra una gran importancia este aspecto porque podría tener una transmisión inmediata a la metodología utilizada en la práctica de las investigaciones policiales avanzadas de siniestros viales en España.

En el procesamiento de la escena de cualquier siniestro vial se debe seguir una metodología criminalística precisa, que en términos generales se puede afirmar que consta de las siguientes tareas: evaluación, búsqueda, observación, registro, documentación, recogida, procesamiento y análisis.

Adaptando esta metodología a MOSES se puede decir que el procesamiento de la escena de un hecho de esta naturaleza, pasa por seguir los siguientes pasos:

- Evaluación de la escena. Direcciones de viaje de cada vehículo o persona.
- Acciones iniciales (ayuda a las víctimas, aviso servicios emergencia, identificación de los testigos e implicados, pruebas de alcoholemia y drogas a conductores e implicados,...).
- Inspección Técnico-Ocular ejecutada de acuerdo con el procedimiento MITOS que se expone más adelante para buscar:
  - Evidencias sobre la vía.
  - Daños en los vehículos.
  - Lesiones en las víctimas.
- Observar la escena para determinar los eventos y puntos singulares:
  - Posición de Impacto (POI): lugar de colisión o atropello.
  - Posiciones finales (PF).
  - Evento crítico (ECRIT)
  - Posición de percepción posible (PPP).
  - Posición de percepción real (PPR).
  - Posición de ejecución de la Decisión (PED).



- Registro, numeración y marcado de evidencias y puntos singulares.
- Documentación: fotografía o video.
- Toma de medidas.
- Boceto del croquis.
- Recogida de evidencias.
- Empaquetado, custodia y transporte evidencias.

La aplicación metodológica ortodoxa de la Inspección Técnico-Ocular es una parte importante del éxito de una investigación, ya que se trata de una actividad irrepetible en la que se deben agotar las posibilidades de información que aportan los diversos tipos de evidencias y las personas presentes. En el caso de las investigaciones sobre siniestros viales la calidad y cantidad de datos obtenidos en la escena determinan indirectamente las exactitud, fiabilidad y calidad de la reconstrucción técnica que se pueda efectuar y del resultado final del análisis de sus causas y condiciones.

### **3.1 Principios de la Criminalística**

Uno de los argumentos para afirmar que la metodología a seguir en la investigación de siniestros viales debía ser científica lleva directamente a buscar los principios científicos que deben aplicarse y que no son otros que los de la Criminalística. Estos principios han sido analizados para comprobar si realmente tienen ese carácter científico (Crispino, 2006, p. 6), siendo el resultado positivo si se aplican con la metodología científica adecuada.

Actualmente, los principios no son ni universalmente ni unánimemente reconocidos y, por lo tanto, se realizará una enumeración ecléctica de elaboración propia:

- Principio de la materia divisible o de producción ha sido formulado buscando un paradigma aglutinador del resto de los principios de esta ciencia. La materia se divide en componentes más pequeños cuando se aplica una fuerza adecuada. Las partes componentes adquirirán las características debidas al proceso de división y retendrán las propiedades físicoquímicas de la pieza original (Inman & Rudin, 2000, p. 87).
- Principio de Intercambio de Locard, que tiene una fácil formulación, “cada contacto deja su traza”, ya que según él cuando dos objetos tomaban contacto, material del primero sería transferido al segundo, y a la inversa. Este principio es la estructura teórica que está detrás del examen de las evidencias de trazas o huellas, siendo directamente aplicable a las acciones que los investigadores llevan a cabo en la escena de un siniestro vial ya que es la base de la teoría que sostiene el procesamiento de esa escena (Gardner, 2005, p. 27). Por ejemplo, el intercambio de materia que se produce entre el neumático de un vehículo en una frenada y el pavimento de la calzada. Como matización de índole científica, se ha afirmado que la palabra contacto es inexacta y no es

estrictamente necesario el contacto para que exista una transferencia de material de un cuerpo a otro (Horswell, 2004, p. 81), como por ejemplo piezas de cristal de un faro que se depositan sobre la ropa de una persona que estaba cerca en el momento de la rotura.

- Principio de Identificación, que define la naturaleza fisicoquímica de la evidencia permitiendo la reducción de una clase de evidencia a una determinada tipología (Inman & Rudin, 2000, p. 78). Por ejemplo, una determinada huella de neumático en la calzada debe ser identificada como de fricción por frenada o por deslizamiento lateral.
- Principio de Clasificación e Individualización, que intenta determinar la fuente de la evidencia, a partir del significado especial del término individualización en el contexto como necesaria fuente única común de dos objetos. Cualquier proceso de individualización utiliza el método de comparación entre, al menos, dos objetos. El análisis forense debe responder a la cuestión si los objetos tienen un origen común. Se ha llegado a afirmar que la Criminalística es la ciencia de la individualización (Kirk, 1963, p. 236). Por ejemplo una pieza de cristal hallada en las ropas de una persona atropellada puede ser individualizada como perteneciente a un faro de un vehículo y, en algunas ocasiones, como perteneciente a una marca y modelo determinado.
- Principio de Asociación, por el cual se puede realizar una inferencia del contacto entre la fuente de una evidencia y un objeto, de tal forma que la inferencia está basada en la detección de una transferencia de material o de un contacto físico determinado por piezas o huellas complementarias (Inman & Rudin, 2000, p. 79). El proceso de asociación consiste en la evaluación de la totalidad de los argumentos a favor y en contra de la inferencia de una posible fuente común. Por ejemplo, una pieza de cristal de un faro hallada en la escena de un atropello mortal, de la cual el vehículo implicado ha huido, al ser localizado, permite que sea comparada con los restos de piezas que han quedado en el faro y establecer la asociación entre ambos y el hecho cometido.
- Principio de reconstrucción de eventos, hechos o fenómenos, según el cual se puede conocer el desarrollo de los eventos de un caso concreto y reconstruir el mecanismo de dichos eventos mediante el análisis y el estudio de todas las evidencias materiales asociadas al hecho. En 1992, Osterburg formuló este principio, aunque no ofreció ninguna metodología específica de reconstrucción, sino que tan solo enfatizó la importancia de usar las evidencias físicas en la reconstrucción de eventos (Osterburg & Ward, 2010, p. 281). La Asociación de Reconstrucción de las Escenas del Crimen (*Association of Crime Scene Reconstruction, ACSR*) define la reconstrucción como el uso de los métodos científicos, evidencia física, razonamiento deductivo e inductivo, y sus interrelaciones para obtener conocimiento explícito de las series de eventos que rodean la comisión de un crimen (Gardner & Bevel, 2009, p. 1).

La misión de estos principios es servir de guía en la investigación de un siniestro vial, especialmente en el procesamiento de la escena de los hechos, pero también debe servir de marco conceptual propio que permita introducir el método científico de forma ordenada y rigurosa en estas fases de la investigación.

### **3.2 Técnicas utilizadas en el procesamiento**

La información necesaria para reconstruir el pasado puede conseguirse a través de tres fuentes: las personas, las evidencias físicas y los registros documentales. Para extraer los datos y transformarlos en información se utilizan diferentes técnicas, entendidas como protocolos, procedimientos o conjunto de reglas que tienen como finalidad obtener los datos necesarios para la investigación del siniestro vial.

En el procesamiento de la escena, sin ánimo de agotar todas las posibilidades, se utilizan las siguientes técnicas: Registro de evidencias, levantamiento topográfico y mediciones, grabaciones de video, fotografías, escáner digital, pruebas de alcoholemia y drogas y entrevistas a los testigos.

A continuación se desarrolla, brevemente, cada una de estas técnicas que son aplicadas con asiduidad en las investigaciones realizadas en la escena de cualquier siniestro.

#### *3.2.1 Registro de evidencias materiales*

El registro de evidencias materiales es una técnica que permite tener identificadas y situadas todas las evidencias materiales en la escena de cualquier siniestro vial, así como la localización de las posiciones relevantes para la reconstrucción del hecho.

Como elementos materiales para llevar a cabo esta técnica se necesita una serie de triángulos numerados, generalmente color amarillo, así como un sistema, preferiblemente en hoja de cálculo en la PDA, para registrar la denominación de la evidencia o el punto que se refleja con cada número.

El registro de evidencias permite que otros investigadores, distintos a los que realizaron el procesamiento de la escena, puedan realizar de forma retrospectiva la investigación o poder realizarla reconstrucción técnica y el análisis de causas.

El sistema de numeración es importante por varios motivos: en primer lugar, establecer un método ordenado y secuencial de inspección ocular de la escena; en segundo lugar, asegurar un procesamiento sistemático de la escena del siniestro y para conseguir una correlación entre posiciones, evidencias y eventos.

#### *3.2.2 Fotografía*

La escena debería ser fotografiada metódicamente. Como en todas las investigaciones de las escenas del crimen, las fotografías deberían incluir vistas panorámicas, intermedias y de detalle de las escenas del siniestro, de los vehículos y personas implicadas. Tanto las fotografías panorámicas como las intermedias deben hacerse desde la perspectiva de cada conductor o persona implicada.

En el procedimiento MITOS se establecen las diferentes fotografías que se debería obtener en el procesamiento de la escena, a las que hay que sumar, al menos cuatro por cada exterior de un vehículo más las de detalle de los daños observados tanto interna como externamente y las de las víctimas.

Si el procesamiento de la escena se realiza de noche o con luz insuficiente es conveniente realizar las mismas fotografías que se harían de día, tanto panorámicas como intermedias, y las de detalle imprescindibles para dejar constancia de las lesiones a las víctimas y de los daños a los vehículos y a la vía. Las fotografías de detalle, especialmente las del vehículo, pueden demorarse al horario diurno para lograr una mejor definición en las mismas.

La fotografía, en sí misma, es una técnica compleja y a pesar de los importantes avances en la fotografía digital y en las ayudas al operador para lograr fotografías con la suficiente calidad para mostrar la escena del siniestro vial y las evidencias es necesario disponer de formación específica en la materia.

### *3.2.3 Video*

Las fotografías se pueden sustituir, al menos parcialmente, por la grabación en video de la inspección técnico ocular de la escena del siniestro vial. Si se utiliza la tecnología digital se pueden extraer de la grabación las instantáneas que muestren las vistas panorámicas, las intermedias y las de detalle, anteriormente citadas.

Si es conveniente realizar una grabación en las condiciones de luz y atmosféricas de la aproximación dinámica a la velocidad estimada de circulación al lugar de la colisión o el impacto, tanto desde la perspectiva de uno de los conductores como desde la del otro o del usuario afectado. Este método aporta una visión dinámica de la secuencia de aproximación al lugar y permite mejorar el análisis secuencial del siniestro y la localización de los puntos de interés y los eventos de esa secuencia.

### *3.2.4 Levantamiento topográfico y mediciones*

En primer lugar se debe hacer un boceto a mano alzada de la escena de los hechos. En este dibujo se debe incluir la numeración y el registro de evidencias y posiciones realizadas de acuerdo con lo expuesto arriba y con el orden establecido en MITOS.

En una localización en recta es preferible utilizar el método de mediciones por coordenadas cartesianas, para lo cual se toma un punto fijo fácilmente identificable como centro de referencia. En cambio si la localización es en curva o en un trazado irregular es mejor utilizar el método de triangulación, para lo cual se toman dos puntos fijos, y se duplica el trabajo en la práctica.

Se pueden utilizar aparatos topográficos más o menos sofisticados para realizar las mediciones, en la actualidad las estaciones totales permiten realizar levantamientos muy precisos de la escena del siniestro. En el ámbito policial se sigue utilizando preferentemente la cinta y la rueda, con un aceptable nivel de precisión.

La fotogrametría es una técnica cuyo fin es estudiar y definir con precisión la forma, dimensiones y posición en el espacio de una evidencia, un objeto o un punto

cualquiera, utilizando esencialmente medidas hechas sobre una o varias fotografías de ese de la escena del siniestro vial.

En la actualidad la policía holandesa está probando un sistema de mediciones fotogramétrica apoyada en las fotografías cenitales tomadas desde un vehículo aéreo no tripulado (drone). Este sistema tiene como ventajas la rapidez en la toma de datos y la disminución del peligro de la toma de medidas para los investigadores.

### *3.2.5 Escáner digital*

Uno de los últimos avances tecnológicos que se han incorporado a la investigación de siniestros viales es el escáner digital. Con un barrido de este aparato se obtiene una nube de puntos que permite, mediante su procesamiento con la aplicación informática adecuada, el levantamiento en 3D de la escena de los hechos.

El escenario virtual así obtenido se puede utilizar para realizar simulaciones con un programa informático de simulación o reconstrucción de siniestros viales, pero también tiene más aplicaciones en el proceso de investigación como, por ejemplo servir para determinar las posiciones de los vehículos en el momento de la colisión a partir de las deformaciones observadas o las trayectorias postimpacto de los vehículos.

### *3.2.6 Pruebas de alcoholemia y drogas*

La norma general debería ser someter al conductor a la prueba de alcoholemia, preferiblemente en el propio lugar de los hechos, con etilómetros que miden la cantidad de alcohol presente en el aire espirado.

Igualmente se debería someter al conductor o a todos los implicados a pruebas para detectar el consumo de drogas. Actualmente, la saliva es el fluido sobre el que se analiza la presencia de drogas en el organismo humano. De nuevo sería preferible realizarlas en el lugar del siniestro, con una posible segunda toma a efecto de contraste.

En todos los casos es determinante para conocer la influencia del alcohol o las drogas en el desarrollo del siniestro establecer con exactitud la sintomatología que presenta la persona sometida a las pruebas. La intoxicación influye en la capacidad cognitiva para la toma adecuada de decisiones, en el tiempo de reacción necesario para tomar una decisión y en la destreza para ejecutarla correctamente.

### *3.2.7 Testimonios*

Los testigos tienen que ser identificados y entrevistados, cuando sea posible, en el lugar del siniestro vial. Si por algún motivo algún testigo tiene que ausentarse del lugar se le identificará para hacer la entrevista con posterioridad.

En la mayor parte de las investigaciones, y en particular en un siniestro vial, las fuentes de prueba personales más importantes que pueden aportar datos sobre como sucedieron los hechos, o sobre las circunstancias que ayudan a explicar por qué sucedieron, son los conductores, los participantes y los testigos. Su declaración aporta a la investigación un valor añadido que se plasma en lo siguiente:

- Sirve para recapitular la información obtenida de las demás fuentes.
- Se pueden confrontar las evidencias materiales con la declaración de los conductores o los testigos, pudiéndose de esta forma acreditar o desacreditar la información obtenida de otras fuentes, materiales o personales, o bien una hipótesis formulada por el investigador.
- Puede dar una nueva explicación a una evidencia material o aportar una interpretación distinta a una hipótesis explicativa.

Lo ideal es que existiera personal investigador suficiente para llevar a cabo la toma de manifestación a los testigos simultáneamente con la realización de la inspección técnico ocular de la escena. En caso contrario, tiene prioridad esta última e inmediatamente después se realizarán las entrevistas a los testigos oculares objetivos, después a los implicados, para dejar, en último lugar, al resto de los testigos.

Por este motivo, la realización de las entrevistas no se haya incluido en el procedimiento MITOS para no interferir en sus finalidades principales.

### **3.3 Procedimiento MITOS**

La Inspección Técnico Ocular de un siniestro vial solo puede iniciarse cuando la escena de los hechos este asegurada. Se entiende que esta asegurada cuando existe un mínimo nivel que garantice la seguridad simultánea del personal que debe realizar esta diligencia y la del resto de usuarios de la vía, y cuando, además, los heridos han sido convenientemente evacuados, existiendo un sistema de señalización preventiva y de regulación del tráfico prestado por personal de apoyo.

Para realizar esta tarea es necesario tener previsto, con carácter previo, el siguiente material:

- Cualquier tableta que soporte programas específicos no solo para la realización de la inspección ocular sino para el registro de la investigación completa de un caso. También se pueden utilizar hojas de cálculo conectadas a tratamientos de texto en ordenadores portátiles de tamaño cuaderno que incluso permiten utilizar las anotaciones a mano.
- Un cuaderno de campo que contiene los formularios con una estructura adecuada de los datos a recopilar. donde se anotarán documentaciones, identificaciones, exámenes de vehículos y órganos principales con particular referencia al examen de neumáticos, desperfectos de vehículos, tacógrafos, etc. Este formulario debe estar estructurado de tal forma que se adecue al orden del procedimiento MITOS.
- Hoja de mediciones donde se anotarán las mediciones efectuadas por el sistema elegido por el Instructor, en función de las características del siniestro, de los puntos característicos o definitorios de la ubicación y forma de huellas, vestigios, cadáveres, vehículos, etc., así como las mediciones complementarias que determinaran la geometría de la vía y su entorno inmediato.

- El boceto o croquis a mano alzada donde se reflejará el escenario de los hechos, comenzando por la ubicación de puntos fijos, siguiendo por la vía y su entorno, la posición de colisión, las huellas y los vestigios dentro y fuera de la calzada, y finalizando con la orientación y las posiciones finales de los vehículos.

El método MITOS se ha formulado sobre la base de la teoría de la evolución y siguiendo un modelo secuencial del siniestro vial, que se ha denominado MOSES. La idea fuerza que se quiere transmitir aquí a todo el personal investigador de siniestros, público o privado, es que su método de trabajo a la hora de realizar la Inspección Técnico Ocular debe estar sustentado en una teoría y un modelo del siniestro vial. Solo así, siguiendo el orden preciso se conseguirá aplicar científicamente la observación de las evidencias, su recogida y posterior análisis para conseguir reconstruir la forma en que se han producido los sucesivos eventos y, en última instancia, estar en disposición de mostrar las causas y factores concurrentes en su génesis.

Una vez que se ha producido el siniestro vial, es misión de todo el personal de la Policía Judicial proteger, asegurar y preservar (PAP) las evidencias. En primer lugar se deben adoptar una serie de precauciones iniciales y medidas preventivas. Se trata de soslayar con ello la afluencia de curiosos que entren y salgan constantemente del escenario del siniestro vial, para evitar la producción de evidencias o indicios falsos o la destrucción, alteración o pérdida de los existentes. No debe permitirse que los conductores curiosos se queden mirando y ralenticen la circulación aumentando de esta forma el riesgo de alcances o atropellos.

### *3.3.1 Determinación de Punto de impacto (DEPOI)*

En la mayoría de los siniestros viales puede determinarse claramente la zona de impacto, entendida como el área del espacio, generalmente localizado sobre la calzada, donde se ha producido el primer contacto entre dos vehículos o entre un vehículo y un usuario de la vía. Para la determinación del punto de impacto (POI) deben aplicarse los conocimientos técnicos que posea la persona responsable de llevar a cabo la inspección técnico-ocular, pej. la desalineación de las huellas de frenada de un vehículo o los restos de fluido dejado por el otro. Es obvio que es necesario determinar, en todo tipo de investigaciones, el punto de impacto.

Si hubiera una ausencia notable de restos sobre la calzada se acudirá a lo afirmado por los testigos presenciales en un primer tanteo de manifestación, y si tampoco hubiera testigos presenciales a la trayectoria que llevarán los vehículos y las personas sabiendo los puntos de salida y de destino de su trayecto.

Las posiciones de impacto y las orientaciones de los vehículos en ese momento no se puede determinar en este momento de la investigación, sino que será uno de los objetivos que deben alcanzarse al finalizar la inspección técnico ocular y, en todo caso, después de los trabajos de gabinete y apoyo posteriores.

### *3.3.2 Procesamiento secuencial de la escena del siniestro (PROSES)*

En la inspección ocular, el investigador debe tener en mente un modelo secuencial de eventos del siniestro (MOSES) para poder completar con la inspección técnico-ocular el mayor número de piezas del rompecabezas que sea posible. El modelo MOSES viene a ser la imagen ideal de los eventos que tienen lugar en un siniestro vial y que debe servir de marco para ir encajando las piezas que los hechos han dejado esparcidas por la calzada y marcadas en los vehículos y las personas, de forma semejante al proceso que se realiza al intentar encajar las piezas de un rompecabezas en el que es muy recomendable tener delante la imagen de la figura completa (un castillo, un paisaje, un barco,...) que debe quedar cuando todas las piezas se encuentren encajadas. Quien no tiene en cuenta un modelo secuencial se enfrenta a la investigación de un siniestro vial lo mismo que una persona se enfrenta a un rompecabezas del que no tiene la imagen final, con su intuición y su experiencia para encajar alguna o algunas de las piezas pero sin pretender abarcar la figura completa.

Los modelos avanzados de reconstrucción dinámica y cinemática de cualquier tipo de siniestro vial, vease el que utiliza PC-CRASH, HVE, SMAC,..., pueden realizar simulaciones desde el punto de impacto hacia delante hasta las posiciones finales para volver al punto de impacto e ir hacia atrás en la evolución del siniestro. Esta capacidad de ir hacia delante y hacia atrás en el esquema de eventos se puede conseguir gracias a un potente modelo de cálculo. Además en este tipo de programas informáticos pueden introducirse secuencias de eventos que permiten determinar si una determinada forma de producirse un siniestro es compatible con las leyes de la física y, además, confrontar las evidencias sobre el factor humano, la vía y los vehículos con las que la simulación establece que se dejarían de haber ocurrido el siniestro de una manera específica.

En este análisis secuencial de la escena se tienen que ir realizando diversas actuaciones de forma simultáneas, y otras de manera sucesiva, pero, básicamente, lo que hay que hacer es lo siguiente: en primer lugar, proteger, asegurar y preservar (PAP) la evidencias sobre la calzada y en los vehículos para dejar constancia de las mismas; en segundo lugar, señalizar y balizar numericamente cada uno de los vestigios presentes encima de la calzada; en tercer lugar, fijar la escena con los grupos de fotografías y tomas de vídeo panorámicas y de conjunto con la señalización reseñada, así como el grupo de fotografías de detalle de cada indicio (huellas y vestigios, punto de conflicto, posiciones finales de personas fallecidas y vehículos, estudio-detalle de desperfectos de vehículos y estudio-estado de diferentes órganos de los mismos, etc.); y finalmente, la realización del boceto a mano alzada, sobre papel o sobre un soporte tecnológico, del tramo de vía en el que se situarán las evidencias numeradas según consta en las fotografías.

#### – Primera estación: Punto de Impacto (POI)

El punto del que se debe partir es el punto de impacto, ya sea en una colisión entre vehículos o en un atropello. Hay que realizar una vuelta completa al horizonte con fotografías, de tal forma que se puedan apreciar todas las perspectivas desde este punto en 360°.

Hay que realizar una fotografía que determine la trayectoria postcolisión seguida por el vehículo A, y repetir lo mismo con el vehículo B o con el usuario implicado. De la misma forma se hará una fotografía en la dirección precolisión del vehículo A y en la del vehículo o usuario B.



En la zona de impacto y al avanzar hacia la segunda estación ESPOFIN A se irán anotando las evidencias que se observen señalándolas con pirámides numeradas de tal forma que en el cuaderno de campo aparezca reflejado el número y la descripción de la evidencia. Si es posible se atribuirá la evidencia a alguno de los vehículos o personas implicadas. Se anotará y dibujará la evidencia y el número en el boceto a mano alzada.

- Segunda estación: Posición Final A (ESPOFIN A)

Se tomarán fotografías de cada uno de los laterales del vehículo en su posición final con una orientación lo más perpendicular posible al plano del vehículo que se intente fotografiar. Se hará un primer reconocimiento del vehículo para determinar detalles que haya que fotografiar y reseñar en el cuaderno de campo.

Si hubiera algún cadáver se fotografiará desde las cuatro perspectivas posibles, asignándole un número como evidencia.

- Tercera estación: Posición Final B (ESPOFIN B)

De nuevo, se procederá como en el punto anterior fotografiando el vehículo por sus cuatro planos, -frontal, trasero y los dos laterales-.

Al avanzar hacia la cuarta estación POI se irán anotando las evidencias que se observen señalándolas, como en la trayectoria del vehículo A con anterioridad, con pirámides numeradas de tal forma que en el cuaderno de campo aparezca reflejado el número y la descripción de la evidencia. Si es posible se atribuirá la evidencia a alguno de los vehículos o personas implicadas. Se anotará y dibujará la evidencia y el número en el boceto a mano alzada.

- Cuarta estación: Punto de Impacto (POI)

Ahora al volver a contemplar la escena desde el POI se deben observar dos trayectorias distintas para cada vehículo o usuario y además se pueden apreciar las evidencias numeradas. Se repite el mismo proceso que en la estación primera, tomando fotografías en el sentido de las agujas del reloj en una vuelta completa al horizonte y, además, se tomarán las fotografías que permitan distinguir la trayectoria postcolisión de cada uno de los implicados. Se finaliza de esta forma el registro de la zona de impacto y la zona postcolisión.

- Quinta estación: Posición de Ejecución de la Decisión A (PED A)

La posición de ejecución de la decisión es aquella en la cual el conductor de un vehículo o un usuario de la calzada ha iniciado una maniobra evasiva al haber observado previamente y valorado un peligro o una situación anómala en la calzada o sus proximidades, pej. el inicio de la huella de frenado en el caso de iniciarse una maniobra evasiva de frenado. En el caso de las huellas de frenado se numerará con las pirámides tanto su inicio como su finalización, en un lado y en el otro si se trata de huellas paralelas.

- Quinta estación: Posición de Percepción Posible estática A (PPP A)

Esta posición es aquella en la cual es visible el peligro o la situación anómala, generalmente determinada por la posición del otro vehículo o el peatón en una posición cercana al punto de impacto. Se tomará, al menos, una fotografía en la que pueda apreciarse la posición del otro vehículo o de la persona implicada, para ello puede utilizarse un vehículo patrulla o una persona cualquiera. Hay que tener en cuenta que esta posición sería la posición de Percepción posible estática, ya que en la realidad la posición puede estar levemente adelantada al ser la PPP una posición que debe establecerse de forma dinámica. Se numerará esta posición como si de una evidencia más se tratará, para poder realizar las mediciones posteriormente con una mayor precisión.

El objetivo de la determinación de la PPP es doble, por un lado determinar el campo visual disponible del conductor y descartar posibles obstrucciones visuales; y por otro lado, comenzar a investigar la influencia de la falta de atención en la producción y desarrollo del siniestro.

Si se realiza una fotografía desde unos metros más atrás de la PPP A se podrá obtener, generalmente, una panorámica de la escena del siniestro vial desde la perspectiva del conductor del vehículo A y una visión de la trayectoria seguida por este vehículo, desde la fase de preimpacto pasando por el punto de impacto hasta alcanzar su posición final.

- Sexta estación: Punto de Impacto (POI)

Hay que volver a desplazarse por la trayectoria del vehículo A, esta vez hacia delante, hasta alcanzar el POI. Esta vez la detención en este punto debería ser mínima ya que solo habrá que hacer una fotografía inversa de la trayectoria del vehículo A con la señalización de evidencias y una fotografía inversa de la trayectoria del vehículo o persona B sin señalizar.

- Séptima estación: Posición de Ejecución de la Decisión B (PED B)

Se trata de repetir el proceso seguido con el vehículo A, pero esta vez aplicable al vehículo o a la persona B. Es posible que en este caso no exista posición de ejecución de la decisión, simplemente porque la persona o conductor B no se ha dado cuenta del peligro. También es posible que no se este en este momento de la investigación en disposición de determinarla, pero a consecuencia de los datos obtenidos pueda materializarse esta posición, pej. peatón que sale corriendo intentando evitar ser atropellado y que no ha dejado marcas de su acción en la calzada, pero que en la manifestación de los testigos presenciales queda claro el lugar y el momento en el que comienza a correr.

- Octava estación: Posición de Percepción Posible estática B (PPP B)

De nuevo se trata de conseguir determinar donde era visible el vehículo A, lo cual debe hacerse de forma intuitiva ya que en este caso influye de manera considerable la velocidad de circulación del mismo.

- Novena estación: Punto de Impacto (POI)

Para finalizar la primera fase del procesamiento de la escena en el mismo lugar que se comenzó se realizará la misma acción que al comenzar, una vuelta al horizonte mediante fotografías, que esta vez nos mostrarán la escena del siniestro convenientemente señalizada. Se finalizará el boceto antes de comenzar la toma de mediciones.

Llegados a este punto, con los datos logrados, se puede plantear un primer intento de reconstrucción secuencial teórica del siniestro. En los puntos donde no existan todavía respuestas deben surgir dos o más hipótesis que poder contrastar posteriormente con los datos disponibles u otros adicionales que se puedan conseguir en la línea investigadora trazada.

### *3.3.3 Medidas relativas a la escena del siniestro (MERES)*

En el punto anterior PROCES se elaboró un boceto, que necesita, ahora, ser completado con las mediciones que permitan convertirlo en un croquis a escala de la escena del siniestro.

La toma de mediciones se hará utilizando alguno de los procedimientos técnicos desarrollados en el protocolo de actuación, y que generalmente se reducen a dos, el método de coordenadas y el de triangulación. Se podría optar por seguir de nuevo el orden establecido en el apartado anterior, pero por motivos de índole práctica es mejor no hacerlo así.

#### *– Relativas a los cadáveres (MERESCAD).*

Una vez, se identifique a la víctima o víctimas y se realicen las fotografías pertinentes, tal y como se ha descrito en el apartado anterior, se puede proceder al traslado del cadáver, siempre que quede convenientemente señalizado, al menos su centro de gravedad por la pirámide de numeración. Por lo tanto para la toma de medidas de la posición final del cadáver no es estrictamente necesaria su permanencia física en el lugar de los hechos. Antes de trasladar al cadáver, por los servicios funerarios, el instructor, o el miembro de la Policía Judicial en quien delegue, extraerá los efectos personales del finado para poder proceder a su identificación, dejando constancia en la diligencia como recogida de efectos.

Se debe examinar perfectamente el entorno inmediato del cadáver y buscar cuantos indicios o pruebas puedan valernos posteriormente para una correcta investigación, antes de tratar de identificarle. Lamentablemente, con más frecuencia de la deseada, al llegar al lugar del hecho donde hay un cadáver, éste ha sido desplazado de su lugar primitivo por quienes han tratado de auxiliarle o identificarle, generando con ello, cuando menos, la confusión. Se debe determinar la posición original mediante el testimonio, in situ, de las personas que lo atendieron o movieron, generalmente en ese punto hay restos de sangre u otros materiales orgánicos.

#### *– Relativas a las huellas y vestigios sobre la vía (MERESVIA).*

Las huellas se miden determinando su comienzo y su final para situarla en el croquis y su longitud, de tal forma que al finalizar el croquis a escala y situar el punto de inicio de la huella y su final y medir con un escalímetro su longitud aparezca el valor recogido en la realidad.

El resto de indicios sobre la vía, tales como las piezas vehículos, las pertenencias de los heridos o muertos o los restos de fluidos se situarán sobre la escena por el procedimiento técnico elegido.

- Relativas a los vehículos (MERESVEH).

Un vehículo que ha sufrido un accidente contiene información suficiente como para llegar a una serie de conclusiones muy importantes respecto al suceso.

Esa información la obtendremos del reconocimiento del vehículo, a través de un examen detallado con una múltiple finalidad: en primer lugar, corroborar si el estado anterior deficiente o defectuoso de alguno de sus elementos de seguridad activa, ha contribuido a producir el accidente, averiguando las reparaciones mecánicas o revisiones más recientes y su resultado a través de talleres y estación de ITV; en segundo lugar, determinar la posición de impacto del vehículo, es decir cómo ha ocurrido el accidente observando los daños existentes en los vehículos y las personas y confrontándolos unos con otros, en cuarto lugar, verificar qué daños son anteriores al siniestro, y que daños se han producido como consecuencia del mismo; en quinto lugar, confirmar qué partes de los vehículos han causado las lesiones a las personas y porqué, sobre todo en atropellos y cuando resultan lesionados los usuarios; y finalmente, comprobar otros datos y elementos que ayudarán a la reconstrucción de los hechos (estado de los neumáticos, suciedad del cristal,...).

Si el vehículo se encuentra fuera de la calzada se puede proceder a la medición de las deformaciones, de acuerdo al procedimiento técnico determinado, pero si se encuentra dentro de la calzada la prioridad será retirarlo de la misma. La toma de medidas de la deformación puede realizarse posteriormente donde que de el vehículo depositado a disposición judicial.

#### *3.3.4 Recogida, protección y remisión de indicios con arreglo a los protocolos estipulados según su tipología*

Sin son importantes cuantos pasos se han ido desglosando, hasta ahora, en la ejecución de la inspección ocular técnico policial, lo es mucho más la técnica empleada en la recogida de las evidencias. La recogida se hará previa fotografía con el obligado testigo métrico.

A continuación se enumeran, sin animo exhaustivo, las principales evidencias que se pueden encontrar en el escenario de un siniestro vial:

- Restos orgánicos (sangre, masa craneoencefálica,...).
- Pintura.
- Cristal.
- Fluidos y restos procedentes de alguno de los vehículos.
- Lámparas.

Por ello, adquiere en esta fase especial importancia la máxima ortodoxia en la observación de la cadena de custodia de muestras y evidencias. Entendiendo por tal, el conjunto de medidas que deben adoptarse para asegurar la identidad y permanencia de las

muestras y evidencias que van a ser objeto de ensayo o custodia. A efectos prácticos, se puede traducir en que debe existir en cada momento un responsable concreto y una ubicación adecuada, reseñada documentalmente, que garantice todo lo anterior. Finalmente, se llevara a cabo la necesaria recogida y transporte de los objetos y efectos del lugar del crimen para su valoración científica en los laboratorios competentes para la emisión del correspondiente informe pericial.

Una vez fotografiada la escena y sus detalles, tomadas las medidas y recogidas las evidencias se procederá a recopilar todas las pirámides de señalización y la retirada de los vehículos, para que, inmediatamente, por parte del personal de mantenimiento se proceda a limpiar la calzada. Se considera que la inspección técnico-ocular ha finalizado cuando se puede afirmar que se ha conseguido la recuperación completa de la normalidad del tráfico en la zona de ocurrencia del siniestro.

### **3.4 Resultados del procesamiento de la escena**

En primer lugar, para documentar la escena de los hechos es necesario generar un expediente o archivo informático del caso investigado. Se deberían tratar en ese archivo o expediente las siguientes materias:

- Identificación de los primeros policías de tráfico que responden a la emergencia y primeros informes recogidos.
- Identificación del personal de los servicios de emergencia, incluido el parte médico se asistencia si está disponible.
- Identificación y datos personales de los conductores implicados, de las víctimas y de los testigos.
- Primera evaluación médica o forense de las lesiones de las víctimas.
- Identificación de los vehículos implicados con su matrícula, VIN, marca, modelo y color.
- Archivos digitales de las fotografías tomadas en el procesamiento.
- Archivo digital de video, especialmente la reproducción de las trayectorias preimpacto de todos los vehículos y personas implicados.
- Registro, numeración y documentación de las evidencias.
- Evidencias empaquetadas para enviar al laboratorio o a depósito de custodia.
- Boceto de la escena, a mano alzada o digital, con la misma numeración seguida en el registro de evidencias y puntos singulares, así como las mediciones realizadas. A partir de ese boceto se elaborará, con posterioridad, el croquis digital de la escena de los hechos con las mediciones de la escena.
- Documentación de la entrevista a los implicados.

- Documentación de la entrevista a los testigos.

A partir de la información obtenida en esta fase y el primer análisis de los datos se pueden establecer las necesidades de datos adicionales que son necesarios para poder acometer la reconstrucción técnica de los eventos secuenciales de acuerdo con el modelo MOSES.

#### **4. INVESTIGACIONES COMPLEMENTARIAS**

Estas tareas o actividades se realizan fuera de la escena del siniestro, de forma sucesiva o simultánea, pero, en todo, caso con la finalidad de complementar la información que se recogió en aquel lugar.

La dificultad de estas investigaciones tiene en muchos casos una base jurídica que utiliza como justificación, entre otros argumentos, la confidencialidad de los datos que se pretenden obtener. Este es un motivo más que permite inclinarse a defender la idoneidad de un sistema integral de investigación basado en el trabajo policial, pero con aportaciones de otras instituciones oficiales o privadas e incluso con una red científica de apoyo en cada uno de los subsistemas que conforman el sistema vial.

##### **4.1 Personas**

Es frecuente que en la escena del siniestro vial, solamente se pueda tomar una somera manifestación de los testigos e implicados y que, incluso, algunos testigos solamente puedan ser identificados resultado imposible su toma de manifestación in situ. Estas situaciones no son deseables, porque la capacidad de memoria de los seres humanos se va perdiendo de forma exponencial a partir de las cuatro horas del suceso y, además, el recuerdo puede ser contaminado con las fabulaciones, las argumentaciones y las ideas inducidas por otras personas.

A veces puede ser necesario volver a entrevistar a algún conductor, usuario o testigo para aclarar algún aspecto no aclarado o para solicitar alguna explicación a datos aparecidos en la investigación, por ejemplo un posible fallo mecánico.

Por el contrario, debería ser habitual la búsqueda de testigos, generalmente familiares y amigos de las víctimas, que puedan aportar datos sobre el viaje y el previaje. En concreto, en toda investigación, debe constar el lugar donde cada conductor o usuario inició su viaje, la hora de inicio, así como el lugar a donde se dirigía, la hora prevista de llegada y el motivo del viaje. Esta información puede servir para ver como la estrategia del viaje puede condicionar el proceso de evaluación de las percepciones recibidas por el conductor o el peatón o las decisiones que estas personas lleguen a adoptar y como las ejecuten. En el previaje hay que obtener la información sobre las actividades desarrolladas por las personas el día anterior y las horas de descanso que tuvieron con antelación al viaje, al objeto de poder investigar posibles causas de cansancio o la aparición de sueño.

Sobre las víctimas del siniestro que hayan resultado heridas y, por lo tanto, hayan sido evacuadas a un centro sanitario u hospital es necesario recabar el parte de lesiones. En España, a tenor de lo dispuesto en la Ley de Enjuiciamiento Criminal, la Guardia Civil de Tráfico y la Policía Local pueden y deben recibir el parte de lesiones de los médicos facultativos que atendieron a los heridos para incluirlo en el atestado que se

remite a la Autoridad Judicial. Este es un factor adicional a favor de la metodología de investigación avanzada aquí propuesta, ya que al tener una regulación legal no se vulnera el contenido de la Ley Orgánica 15/1999, de 13 de diciembre, de Protección de Datos de Carácter Personal.

Cuando a consecuencia del siniestro fallece alguna persona, lo normal es que se produzca el levantamiento del cadáver con las peculiaridades que la legislación española tiene, lo cual permite que sea con intervención del Médico Forense o no. En cualquier caso, el fallecido es trasladado a un Instituto de Medicina Legal, u otro lugar que cumpla esa función, donde se le pueda practicar la autopsia por el Médico Forense.

La autopsia de las personas que han fallecido de muerte violenta en España se encuentra regulada en la Ley de Enjuiciamiento Criminal. A nivel europeo, la Recomendación (99) 3 del Consejo de Europa, de 2 de Febrero de 1999, para la armonización metodológica de las Autopsias Médico Legales, determina en la letra f) de su apartado 2 del objeto de la recomendación que debería practicarse la autopsia en los casos de muerte en un siniestro vial. Además, en su Principio VI establece una recomendación completa del informe de autopsia, de sus características fundamentales y de los datos, diseño y estructura que debería tener su contenido. El informe de autopsia tiene una especial importancia en la reconstrucción técnica del siniestro vial, así como en la determinación del mecanismo lesional y, por lo tanto, en el diseño de medidas preventivas y paliativas de los traumatismos en estos casos.

En España, en el caso de muerte, el informe de autopsia también puede estar accesible a través de la autoridad judicial por parte la Unidad de Investigación de la Guardia Civil de Tráfico o de la Policía Local que hubiera instruido las diligencias del correspondiente siniestro vial.

La información de las víctimas debería incluir una serie de datos básicos de la configuración y características, así como una descripción de cada una de las lesiones y su codificación en un sistema médico reconocido internacionalmente:

- Características genéricas: edad, género y descripción general.
- Datos antropométricos: peso, estatura y constitución física.
- Descripción de la lesión: naturaleza, extensión, localización y severidad.
- Codificación de la lesión: realizada de acuerdo con el método elegido.

Para la codificación se puede utilizar la Escala Abreviada de Lesiones (*Abbreviated Injury Scale, AIS*), que vio la luz en el año 1971, y que consta de dos componentes: en primer lugar, el descriptor de la lesión, a menudo denominado “código predot”, que es un único identificador numérico para cada lesión descrita; y en segundo lugar, la puntuación de severidad, denominado código “postdot” y que va desde uno a seis. En este trabajo se va a utilizar esta escala.

Para esta finalidad codificadora se puede utilizar, también, la Clasificación Internacional de Enfermedades (*International Classification of Diseases, ICD*). La ICD es una clasificación de diagnósticos de propósito general para todas las condiciones de

salud e incluye códigos de diagnósticos para la naturaleza de las lesiones y para las causas externas de esas lesiones. El ICD no incorpora una dimensión explícita de la gravedad de la lesión. La Matriz de Barell es el marco de trabajo de los códigos de lesiones ICDCM para regiones anatómicas tipo, aunque no considera la severidad relativa. En 1986, un equipo dirigido por Mackenzie publicó una tabla de conversión entre los índices ICD y AIS, y un método para realizar esta tarea.

Se puede utilizar un método de representación gráfica de las lesiones sobre uno o varios esquemas del cuerpo humano que muestren el sistema óseo, muscular e interno.

En España, de momento, salvo autorización judicial, no es posible acceder a los antecedentes médicos y psicológicos de quienes están implicados en un siniestro vial, aunque al menos los resultados de las pruebas realizadas para obtener o renovar el permiso de conducción son completamente necesarios en una investigación en profundidad para conocer las capacidades y entender sus comportamientos ante el evento crítico y en toda la secuencia de eventos del siniestro vial. Sin embargo, en la entrevista a los propios conductores, o a sus familiares cercanos, si se les puede preguntar por el estado físico y anímico o si estaba en tratamiento médico por alguna dolencia.

Por el contrario, un dato que siempre está accesible en toda investigación, el tipo o tipos de permisos de conducción que tenía cada uno de los conductores implicados en el siniestro, así como la antigüedad de cada uno de ellos. Con este dato se puede tener idea de la experiencia y pericia del conductor, pero no es definitivo, por eso es necesario tener como información complementaria a través de las entrevistas a los propios conductores o a sus familiares cuál era la frecuencia con la cual conducía el vehículo, si era de su propiedad o era el conductor habitual, y en caso de no ser de su propiedad si era la primera o la frecuencia con la que conducía esa marca y modelo de vehículo. Esta información en los conductores de vehículos pesados, en los de autobuses y en los de motocicletas y ciclomotores tiene una gran importancia para comprender sus acciones y reacciones a lo largo de la secuencia de eventos.

Si bien se ha afirmado arriba que las pruebas de alcoholemia y de detección del consumo de drogas, estupefacientes y psicotrópicos se realizan en la escena del siniestro vial por imperativo legal y porque el tiempo permite a los conductores y usuarios absorber este tipo de sustancias y eliminarlas. La prueba confirmatoria de consumo de drogas en España se realiza en un laboratorio de referencia que establece el tipo y la cantidad presente en la saliva y cuyo informe debe recabarse con posterioridad a la ocurrencia del siniestro vial. Además, cuando las personas son evacuadas a un centro sanitario u hospital para ser atendidas, las pruebas deben practicarse allí, voluntariamente si está consciente, y con un mandamiento judicial si está inconsciente.

## **4.2 Vehículo**

En primer lugar, a partir de los datos recogidos en la escena de los hechos, —matrícula, marca, modelo color—, se puede buscar información adicional sobre los vehículos en bases de datos genéricas o específicas, tanto oficiales como privadas, como por ejemplo las características de los vehículos, su geometría, motorización y su archivo digital 2D y 3D para usar en el croquis y en la reconstrucción técnicas con programas de reconstrucción o simulación.



La inspección en profundidad de los vehículos implicados debe hacerse con posterioridad a la ocurrencia del siniestro de acuerdo con un protocolo preestablecido. Se debe fotografiar tanto el exterior como el interior del vehículo inspeccionado, así como todos los detalles de los daños debidos al impacto o los restos dejados por la interacción con las personas. Además deben medirse las deformaciones del vehículo para poder realizar la reconstrucción técnica posterior.

Sobre la extensión y alcance de los daños puede recabarse de las compañías aseguradoras el peritaje realizado para complementar esa inspección complementaria.

En los casos de dudas o en los que se plantee el fallo mecánico como hipótesis investigativa, al menos, es conveniente pasar una inspección técnica completa de los vehículos, por parte de un centro de referencia en Ingeniería Mecánica, de acuerdo con el sistema propuesto anteriormente.

En los vehículos que tengan instalado un aparato tacógrafo, en la escena de los hechos habría que haber retirado el disco en el caso de ser analógico el modelo o descargado la información a través del puerto USB si el modelo fuera digital, la información adicional se obtendría del análisis del disco o del archivo informático serviría para determinar las velocidades de impacto, las velocidades de circulación, la distancia recorrida, el tiempo transcurrido, así como los periodos de conducción y descanso.

En Europa, no es obligatoria la instalación ni está difundido el uso de cajas negras o sistemas de registro de datos de siniestros, pero a través de una inspección digital en profundidad pueden extraerse datos del sistema de sensores y del bus de datos del vehículo (*bus* CAN). Esta información estará disponible a medio plazo a través de sistemas de extracción de estos datos que ya comienzan a comercializarse en el mercado europeo.

### 4.3 Vía

En la actualidad, se puede conseguir sin mucho esfuerzo una fotografía cenital reciente de la zona donde se ha producido el atropello. También es conveniente realizar una visión panorámica de la escena desde el punto de atropello a partir de las fotografías tomadas en la Inspección Técnico Ocular.

La situación exacta de la zona de ocurrencia mediante localización GPS (*Global Positioning System*) ayuda a recuperar esta información de las bases de datos públicas o privadas. También es posible tener planos 2D y 3D, con información GIS (*Geographic Information System*) incorporada, de la zona del siniestro vial. Normalmente, el coeficiente de fricción longitudinal y lateral está determinado en la información disponible sobre la vía.

Sin embargo, con un acelerómetro puede determinarse la capacidad de deceleración del vehículo siniestrado o de uno de características similares al mismo, lo cual permite una mayor exactitud en la determinación de las circunstancias en que se realizó la maniobra evasiva, especialmente cuando se trate de una frenada de emergencia.

Toda esta información facilita el trabajo preparatorio de la simulación informática y mejora notablemente sus resultados.

#### **4.4 Sistema sacionormativo**

El subsistema sacionormativo está constituido, principalmente, por la regulación normativa cuya importancia tanto en la génesis como en el desarrollo del siniestro vial es, normalmente, en las investigaciones policiales con una finalidad netamente judicial, a veces quizás excesiva, mientras que es generalmente, y a veces hasta deliberadamente, ignorada en otros proyectos e investigaciones.

La normativa que regula el tráfico y la circulación de vehículos juega un importante papel como condicionante del comportamiento de los conductores, en su percepción del peligro, en la asunción de riesgos y en su estrategia de conducción.

Hay que reflejar en el croquis, así como en los registros de la escena, la señalización existente en la escena del siniestro y la que afecta a esa escena, como por ejemplo, la limitación específica de velocidad, la detención obligatoria, el paso de cebra para peatones. También hay que reflejar en las condiciones de la acción del conductor la regulación de la maniobra afectada, por ejemplo en la maniobra de adelantamiento en una vía convencional de doble sentido de circulación las obligaciones que tienen el conductor adelantado y el que adelanta y como debe hacerse esa maniobra para evitar riesgos.

El sistema sacionormativo no solo afecta al conductor o a los usuarios de la vía, también al vehículo que debe responder a una normativa de homologación, generalmente reglamentos de la Unión Europea y reglamentos UNECE, y a una normativa de mantenimiento, la revisión periódica de la Inspección Técnica de Vehículos (ITV). De la misma forma, el diseño, la construcción y el mantenimiento de la vía está regulada por normas obligatorias de carácter nacional y europeo.

Si no se refleja esta información en la investigación y en el análisis que se realice de las causas y condiciones del siniestro vial, no se podrá abordar el problema desde un punto de vista sistémico porque faltaría los datos sobre la influencia del subsistema sacionormativo en el resto y las soluciones y medidas que se adopten solo podrían ser parciales y por lo tanto, en principio, no aportarían estabilidad al sistema.

### **5. RECONSTRUCCIÓN TÉCNICA DE ACUERDO CON EL MODELO MOSES**

La reconstrucción es una actividad necesaria, aunque no suficiente, para entender lo que ha sucedido en un siniestro vial y por qué ha llegado a ocurrir tal y como lo hizo. Al contrario de lo que se cree, la actividad de reconstruir es un equilibrio entre las técnicas criminalísticas y las de la ingeniería mecánica, junto al cálculo matemático dentro del campo de la Mecánica desde la perspectiva de la Física newtoniana.

Esta actividad comienza con la determinación del punto de impacto en la calzada, para continuar con las posiciones relativas de los vehículos en ese momento y, posteriormente, realizar un cálculo de las velocidades de impacto de los vehículos y personas en el momento del impacto o de la colisión.

#### **5.1 Determinación de la localización del Punto de Impacto**

La determinación de la localización del Punto de Impacto (POI) debe hacerse en base a las evidencias que se recojan y observen en la escena del siniestro vial. Los testimonios de los testigos imparciales, de los testigos implicados y de los conductores y usuarios implicados tienen que servir de ayuda y orientación en la localización, pero siempre deben buscarse evidencias materiales como fuente principal de este proceso. Es crucial que el tiempo entre la ocurrencia de la colisión y la inspección ocular sea el menor posible para que la exactitud en la localización del POI sea la mayor posible.

Una Inspección Técnico Ocular rigurosa, precisa y completa facilita la localización correcta del POI.

En la mayoría de las colisiones entre vehículos localizar el POI en el espacio encima de la calzada es sencillo por la gran cantidad de huellas, restos y fluidos que la violencia de la colisión deja en la escena de los hechos, pero hay casos en los que es necesario un mayor estudio y análisis de las evidencias materiales.

Las evidencias que mejor señalan el lugar donde se sitúa el POI de una forma ordenada por orden de importancia serían las siguientes:

- Residuos de los bajos de los vehículos. Esta es una evidencia muy significativa, pero es muy volátil por lo que cuanto más tiempo transcurre desde la ocurrencia del siniestro vial hasta la realización de la inspección ocular menor son las probabilidades de observar esta evidencia.
- Huellas de fricción. En este caso las desalineaciones de huellas señalan el lugar del impacto. En los supuestos de colisiones con ciclistas estas huellas de fricción pueden ser muy leves y tenues. En los casos de atropellos a peatones los zapatos con suelas de goma negras también pueden dejar huellas de fricción tenues.
- Restos de fluidos. Si el impacto ha sido violento la caída de los fluidos del vehículo (aceite, líquido de frenos, agua,...) es prácticamente instantánea. A pesar de lo anterior no siempre comienza el vertido en el POI, sino un poco más adelante, por lo que estos vertidos funcionan siempre como límite espacial de situación del POI, que puede ser situado con anterioridad en el espacio con otras evidencias o testimonios.
- Hendiduras de partes metálicas de los vehículos.
- Testimonios de testigos presenciales imparciales. Pueden servir para plantear o comprobar las hipótesis de trabajo sobre determinadas acciones o eventos.
- Testimonios de testigos implicados en el siniestro vial.
- Testimonios de los conductores implicados en el siniestro vial.

De la misma forma debe existir una coherencia entre la localización del POI y las trayectorias preimpacto de los vehículos o usuarios.

## **5.2 Posiciones de los vehículos en el impacto**

Como premisa para estar en condiciones de definir las posiciones relativas de los vehículos es necesario proceder a estudiar los daños que se observan en ellos después del impacto para comprobar como casan respectivamente.

Las posiciones de los vehículos en el impacto se deben deducir después de un minucioso estudio de cómo se han producido las deformaciones de los vehículos. Otro concepto que se tiene que tener en cuenta es la Fuerza Principal de Impacto (FPI).

Las trayectorias preimpacto utilizadas en MITOS deben ser coherentes con las respectivas direcciones de la Fuerzas Principales de Impacto que se han determinado en los vehículos implicados. Esta información sirve para orientar correctamente los ángulos entre los vehículos y de estos con la vía.

### **5.3 Estimación de las velocidades de impacto**

Para estimar o calcular las velocidades de impacto de los vehículos implicados se deben aplicar las leyes y principios de la Física que son, sin ánimo exhaustivo, los siguientes:

- Leyes de Newton.
- Principio de Conservación de la Energía (PCE).
- Principio de Conservación del Momento Lineal (PCML).
- Principio de Conservación del Momento Angular (PCMA).

Un siniestro vial desde el punto de vista energético consiste en la transformación de energía cinética, debida a la velocidad de los cuerpos, en otros tipos de energía, por ejemplo, energía de rozamiento en la frenada. Pero el concepto clave para entender de verdad un siniestro se halla en la transferencia de energía de un cuerpo a otro en el momento del impacto, realmente lo que produce en un siniestro vial las lesiones a las personas y los daños a las cosas es la energía. Como la energía está íntimamente relacionada con la velocidad, el análisis del balance energético del siniestro adquiere un protagonismo directo difícilmente discutible.

Dependiendo de la tipología de siniestros viales investigados es posible utilizar diferentes modelos físicos con desarrollos matemáticos para realizar los cálculos de la velocidad de impacto, por ejemplo en colisiones entre vehículos se desarrolló en España un modelo teórico que pudo ser implementado informáticamente en una aplicación llamada SINRAT (San Roman Garcia, 1994; San Roman, et al., 1995, p. 181), que también fue utilizada por la Agrupación de Tráfico de la Guardia Civil en sus primeras reconstrucciones técnicas con programas informáticos.

Para realizar la estimación de la velocidad puede utilizarse un método de reconstrucción cinemática de naturaleza analítica, donde la única ayuda sea una calculadora, un papel y un lápiz, o bien utilizar las más modernas hojas de cálculo.

MOSES es compatible con la mayoría de los programas informáticos de simulación y reconstrucción de siniestros viales, que pueden servir de apoyo para realizar la reconstrucción cinemática, los cálculos energéticos y la secuenciación más precisa de los eventos en que se pueden descomponer los hechos.

El investigador experto puede acudir directamente a los módulos correspondientes de las aplicaciones informáticas de reconstrucción y simulación de siniestros para lograr este fin. Éste último método acabará por imponerse por su rapidez, seguridad y eficacia, aunque debe tenerse en cuenta que el realizar un acercamiento previo al problema, con el método tradicional, ayuda al investigador a entender mejor la secuencia de eventos y, de esta manera, poder afrontar, con mayores probabilidades de éxito, las siguientes etapas.

#### **5.4 Análisis de las acciones y condiciones**

Se deben describir los eventos que se producen, a lo largo del desarrollo del siniestro, en los diferentes momentos que se van sucediendo en cada una de las correspondientes fases.

Las fases del modelo MOSES son el previaje, el viaje, el preimpacto, el impacto y el postimpacto, y en todas ellas hay que tener en cuenta que se pueden recoger datos e informaciones relevantes para comprender las acciones o establecer las condiciones en los diversos subsistemas.

La investigación de las acciones y condiciones en cada evento debe extenderse a todos los subsistemas (vehículo, persona, vía y marco normativo) en cada una de las fases antes mencionadas, de tal forma que se puedan encajar adecuadamente la mayoría de las piezas que se hayan recopilado en primera instancia. En caso de detectarse lagunas en la información o incoherencia entre los datos, evidencias materiales y testimonios, MOSES serviría para orientar la nueva búsqueda de datos o fuentes de información que puedan aportar esas piezas perdidas que aporten luz a los aspectos oscuros en la investigación.

La estimación del riesgo objetivo que representa cada acción o condición es la parte menos asentada del modelo MOSES. En primera instancia, se puede realizar un acercamiento a la cuestión simplemente señalando si la acción, o la condición, han elevado el nivel de riesgo objetivo para que la cadena de eventos acabe en un impacto. La introducción de este paso se ha realizado porque, en futuras investigaciones sobre MOSES, debería darse cabida al estudio probabilístico sobre los eventos y a la determinación de los niveles de incertidumbre en los cálculos.

#### **5.5 Vinculaciones de las acciones y eventos con las fuentes de prueba**

Cada acción lleva aparejado un evento y cada evento lleva aparejada una o varias acciones de las personas o subsistemas del sistema de tráfico vial.

Hay que vincular cada evento a una o varias acciones y a continuación a las fuentes de prueba. Por ejemplo, una frenada de emergencia se debería poder vincular al conductor que ha pisado el pedal del freno, al sistema de frenado que ha actuado y a los neumáticos que debido a la fricción han dejado una huella visible sobre la calzada.

Hay otros eventos en los cuales las acciones realizadas no son evidentes, al contrario pueden ser dudosas o contradictorias, las evidencias y testimonios escasos o inexistentes y hay que acudir a un razonamiento lógico basado en evidencias, indicios y argumentos. Por ejemplo, el evento detención de un vehículo ante una señal de detención obligatoria en una intersección donde no se disfruta de preferencia de paso se basa en primer lugar en determinar si el vehículo se llegó a parar completamente, o sea su velocidad llegó a ser nula, o por el contrario tenía una velocidad residual cuando cruzó la línea de detención. En el caso práctico expuesto en la parte II del Capítulo IV se resuelve una contradicción entre testimonios sobre este determinado evento, a través de las evidencias e indicios tratados a través de un razonamiento físico-matemático.

## **5.6 Determinación del Evento Crítico**

La determinación del Evento Crítico (ECRIT) solo puede hacerse después de la realización de una inspección técnico ocular de la escena del siniestro, y haber recogido las declaraciones de los testigos, peatones y usuarios, así como de los ocupantes y conductores de los vehículos. No es necesario en esta etapa situar en el cronograma del siniestro la localización exacta del ECRIT sino tan solo identificarlo.

En la fase de preimpacto partimos de una situación de conducción normal para pasar a una situación de peligro de siniestro a consecuencia del evento crítico, posteriormente se deriva a una situación de emergencia y, en caso de fracasar en la decisión o en la ejecución de la maniobra evasiva, se acaba en una colisión.

La situación normal de conducción es aquella en la cual los usuarios de la carretera mantienen el control del vehículo, en el caso de los conductores, o de su movimiento, en el caso de los peatones y resto de usuarios.

Hay que determinar el evento crítico, que constituye el inicio de la situación de peligro de siniestro, mediante una acción que produce un aumento del riesgo de acabar la secuencia en un siniestro vial. Este evento se define desde un punto de vista exterior, y es característico del siniestro desde una perspectiva global, no desde una visión unilateral de alguno de los implicados. El elemento que constituye esta ruptura es una evolución espacio-temporal observable exteriormente, no una apreciación personal de alguno de los implicados. Por ejemplo, en una colisión lateral oblicua perpendicular entre dos vehículos en una intersección el evento crítico lo constituye la invasión del carril o de la calzada por parte del vehículo que no goza de la prioridad normativa cortando la trayectoria del otro vehículo que circulaba con preferencia.

## **5.7 Análisis de las posiciones sincronizadas**

El análisis secuencial del siniestro vial parte de la misma tesis que el modelo piramidal de análisis de conflictos, según la cual existe una continuidad de eventos desde una situación de conducción normal hasta el desenlace final de la situación que provoca un siniestro vial.

Si se analizase la secuencia de eventos de cada conductor o usuario individualmente no se podrían alcanzar conclusiones desde un punto de vista sistémico, para comprender por qué se produce un siniestro, entendido como una quiebra en el correcto funcionamiento del sistema vial, es completamente imprescindible establecer y estudiar

las interrelaciones entre las acciones de las diferentes personas implicadas, así como el estado de cada subsistema en esas posiciones.

Para poder realizar el análisis de las interrelaciones en el sistema vial se utiliza el concepto de sincronización, lo cual permite observar en unas determinadas posiciones lo que han hecho o dejado de hacer los conductores y usuarios. Existen varias posiciones a sincronizar:

- En el POI, las posiciones de los vehículos y personas es la misma, por este motivo, entre otros, es crucial en toda investigación la determinación lo más exacta posible de esta localización.
- En el Evento Crítico, generalmente, una de las posiciones es conocida, la del vehículo o usuario cuya acción desata este evento, la del otro vehículo o usuario hay que determinarla a través de la reconstrucción técnica a través de los cálculos matemáticos, la aplicación de las leyes de la física y los modelos aplicables al caso concreto.
- A partir del Evento Crítico puede determinarse el PPP y en este caso la sincronización de posiciones va a permitir realizar el estudio sobre la evitabilidad del siniestro vial para aquel conductor o usuario que no ha desatado aquel evento.
- En la PED, que viene determinada para un vehículo o usuario por las evidencias en la vía o, en su caso, por los testimonios interesa saber cuál era la distancia y el tiempo de que disponía el otro vehículo o usuario para reaccionar frente a esa maniobra evasiva o para paliar los efectos del inminente impacto.

No es descartable que puedan existir más posiciones para sincronizar, pero las enumeradas son las imprescindibles en cualquier investigación.

## **5.8 Secuencia tipo**

Se pretende establecer la secuencia tipo de cada uno de los vehículos o personas implicados en el impacto que lleva implícito un siniestro vial.

En MOSES se parte de la identificación y localización del POI, punto en el que se sabe que en un momento determinado han estado situados los diferentes vehículos y personas implicadas, e incluso, a veces se puede afirmar que su velocidad ha sido la misma o muy próxima, pero no tiene la consideración de evento crítico, aunque no se pueda negar su indudable importancia.

Una vez situado el POI, si avanzamos hacia delante, se pueden localizar las posiciones finales de los vehículos y las personas, a través de las mediciones recogidas en la escena de los hechos.

Mientras que si vamos hacia atrás, se puede establecer o analizar la situación del PED. Por ejemplo, el PED de una maniobra evasiva de frenado se encuentra a una distancia determinada del inicio de la huella de frenado.

El PPR se encuentra separado del PED por el tiempo de reacción del conductor o usuario de la vía, que puede establecerse de forma estadística de acuerdo a la edad y condiciones de la persona o realizándole un test de reacción. El PPP se encontrara cerca del PPR si el conductor, o la persona de que se trate, estaban atentos a las circunstancias del tráfico.

En la mayoría de los casos el PPP puede establecerse de forma objetiva en la escena de los hechos. De acuerdo con la definición el PPP debería establecerse para persona normal, con una diligencia y un nivel de atención media. Aun así, la PPP pudiera desglosarse en dos distintas: la que correspondería al conductor que reúne y circula en un vehículo con todas las garantías de seguridad, y la que pudiera aplicarse al mismo conductor en las condiciones en que lo hacía en el vehículo afectado por el siniestro vial.

Una vez que se tienen situados los eventos referidos se procede a establecer el espacio, el tiempo y la velocidad que en cada uno de ellos tenía cada vehículo o cada persona que se considere actor en el desarrollo del siniestro. La aceleración se puede calcular como parámetro derivado de los anteriores o utilizarse modelos y métodos de cálculo relacionados con la fuerza de reacción que las ruedas transmiten al vehículo.

## **5.9 Conclusiones sobre la situación relativa de las posiciones**

La situación relativa de las posiciones clave sirve para orientar la investigación en la recogida de información adicional necesaria, también debe proporcionar argumentos lógicos para la determinación de las causas en el análisis que se realizara posteriormente.

### **– Relación entre la PPP y la PPR**

En el espacio existente entre la PPP y la PPR, que indica el intervalo en el cual ha tenido lugar la percepción del peligro o situación anómala, el investigador debería investigar las condiciones psíquicas y somáticas de las personas implicadas en el siniestro vial, así como las condiciones ambientales de la vía y su entorno.

Si dicha distancia es grande, cabe pensar con una elevada probabilidad de acierto, que ha existido falta de atención a la conducción por parte del conductor achacable a una distracción interna (preocupaciones, problemas,...), a una distracción externa (charla o disputa con acompañantes, poner la radio, contestar el teléfono móvil, apagar un cigarrillo, etc.) o a una disminución de la capacidad de atención y observación (sueño, fatiga, alcohol, drogas, medicamentos, enfermedades).

El problema real para el investigador en la determinación de este tipo de causas de la falta de atención es conseguir fuentes de prueba que aporten evidencias (registros médicos, listado de llamadas telefónicas,...) o testimonios (ocupantes, familiares, compañeros de trabajo,...) que efectivamente sirvan como argumentos que soporten la determinación específica en cada caso concreto.

### **– Relación entre la PPR y la PED**

El intervalo existente entre la PPR y la PED viene determinado por el tiempo de reacción de la persona frente al peligro o a la situación anómala.



Para poder determinar correcta y rigurosamente este tiempo de reacción se deberían comprobar las condiciones psíquicas y somáticas del conductor o usuario en el momento del siniestro vial, así como investigando sus conocimientos sobre seguridad vial, su experiencia en la conducción y sus reflejos. Si es factible, un buen método para lograr el objetivo anterior consiste en hacer una prueba de tiempo de reacción sencilla.

Si esta distancia es grande, el investigador puede pensar en una reacción lenta, debido a la incapacidad de procesar adecuadamente la información que le llegaba de la situación de peligro, a la confusión procedente de un exceso de información o unos datos dudosos, o a dificultades en la adopción de una decisión sobre la maniobra evasiva a ejecutar. No cabe pensar ahora en distracciones pues ya se ha llegado a la PPR y por ello la situación anómala o de peligro ya ha sido observada.

– Relación entre la PED y la POI

Entre la PED y la POI el conductor o usuario ejecuta la maniobra evasiva que ha decidido que puede evitar el siniestro vial o, al menos, disminuir sus consecuencias.

La dificultad de la maniobra evasiva viene determinada, entre otros factores, por la experiencia y pericia del conductor, por la velocidad de circulación del vehículo, el espacio disponible para su realización, el estado de la vía y las capacidades del vehículo. Por ejemplo, una distancia pequeña entre la PED y la POI dificulta que se pueda realizar una maniobra evasiva completamente eficaz y una velocidad inadecuada junto a una maniobra evasiva ejecutada con brusquedad puede producir la pérdida de control del vehículo.

Hay que diferenciar entre el error en la decisión de la maniobra evasiva a ejecutar, por ejemplo un cambio de carril que lleva directamente a intersectar la trayectoria del otro vehículo, que quedaría fuera de esta investigación, y un error en la ejecución de la decisión cuando lo correcto era una frenada de emergencia con un cambio de carril para evitar la colisión con el otro vehículo, pero al realizarla el conductor del vehículo pierde el control de su propio vehículo y acaba saliéndose de la vía e impactando con una farola.

– Relación entre el PPP y el PNE

La relación del PNE y del PPP, en cada siniestro vial, debe determinarse para contestar a una cuestión clave: ¿Podría haberse evitado el siniestro vial?

Esta relación puede determinarse a través de un estudio de evitabilidad que permite discernir si en el momento en el que puede observarse el peligro o situación anómala, en la PPP, la persona podía evitar el siniestro vial realizando alguna maniobra evasiva o por el contrario hiciera lo que hiciera el suceso era inevitable.

Esta es una materia compleja, ya que deben tenerse en cuenta multitud de factores concurrentes, y complicada, puesto que el procedimiento para determinar la evitabilidad no es único ni mucho menos sencillo, a pesar de lo cual cuanto mayor sea la precisión, rigurosidad y exactitud con que se determinen las velocidades en el momento del impacto será más viable la realización de ese estudio de evitabilidad.

Este estudio tiene una importantísima trascendencia jurídica, de tal forma que si un conductor o usuario circula cumpliendo con la normativa vigente de tráfico y seguridad vial y se tiene que enfrentar a un peligro en estas condiciones, los resultados lesivos y dañosos que se produzcan a las personas o a sus bienes no le son imputables a título de imprudencia, ni leve ni grave.

### **5.10 Relato secuencial**

Con la representación gráfica del modelo MOSES se hacen evidentes los eventos, las acciones y las condiciones, lo cual sirve para comprender cómo sucedieron los hechos con una sola mirada.

La mejor forma de describir cómo sucedieron los hechos es a través de un relato en el que se vayan detallando secuencialmente los eventos correspondientes a cada una de las siguientes fases:

- Previaje: para cada conductor o usuario se deberían describir los eventos y acciones realizadas, con especial relevancia para las horas de sueño y la calidad del descanso.
- Viaje: cada conductor o usuario se debería describir el plan de viaje, aportando datos como el lugar de salida y el de destino, el motivo del viaje, conocimiento de la ruta seguida, las paradas realizadas, así como la hora de salida y la hora prevista de llegada.
- Preimpacto: en esta fase los eventos principales deben ser descritos a través de las acciones y condiciones de las posiciones clave de todos los conductores o usuarios involucrados. Una descripción sucinta de la maniobra evasiva es imprescindible. Un mínimo análisis de la evitabilidad del impacto es necesario para su posterior análisis y para la determinación de las posibles responsabilidades individuales de los implicados.
- Impacto: se trata de localizar el lugar de colisión, las posiciones en ese momento de los vehículos, así como la localización de las personas en la vía y dentro de los vehículos.
- Postimpacto: se deberían poder describir las trayectorias postimpacto, las posibles colisiones secundarias, hasta alcanzar las posiciones finales que hay que localizar sobre la vía o las de las personas dentro o fuera de los vehículos.

Este relato tiene que ser detallado, preciso y completo, pero tan sucinto y breve como sea posible. Todas las palabras o frases innecesarias o redundantes deben ser retiradas del relato, sobre todo si se quiere incorporar como uno de los campos de la base de datos.

### **5.11 Programas de reconstrucción y simulación de siniestros viales**

La aparición e incorporación al mundo de la investigación de las modernas técnicas de reconstrucción de siniestros viales, –fotogrametría, programas de simulación, programas de reconstrucción,...–, ha permitido a los investigadores, incluso a los

pertenecientes a la Policía científica, llegar a conclusiones de forma más rápida y exacta, mejorando de forma muy notable la comprensión de cómo ocurrió el siniestro y las causas del mismo. De esta manera se contribuye a lograr el doble objetivo de la investigación de siniestros viales, por un lado, facilitar la labor de los Tribunales de Justicia y, por otro lado, permitir los estudios y análisis de la siniestralidad para permitir a los poderes públicos adoptar la política más adecuada para su prevención. En definitiva, todos los avances tecnológicos y metodológicos que se apliquen en la investigación favorecen los derechos e intereses de los ciudadanos afectados y redundan en un beneficio general a la sociedad.

Se pueden utilizar diversos programas informáticos para conseguir simular el resultado final de un atropello en las condiciones determinadas por la reconstrucción analítica. Sin embargo, se utilice el programa que se utilice hay que tener en cuenta que las leyes de la física, naturalmente, deben ser las mismas para todos (Chenisbest, et al., 1998, p. 418).

Estos programas utilizan modelos físicos y matemáticos validados mediante procedimientos aceptados universalmente. Los módulos de cálculo de este tipo de aplicaciones, sean o no sofisticados, se adecuan a las leyes generales de la física newtoniana. La gran ventaja que ofrece este tipo de programas es la rapidez con que llevan a cabo los cálculos, lo que permite un análisis iterativo, que tenga en cuenta todas las circunstancias del siniestro, hasta que se llega a una solución correcta.

Además se distinguen tres maneras de mostrar los resultados de una simulación: numéricamente mediante gráficas y tablas de datos, mediante gráficos en dos dimensiones y mediante una visualización dinámica en tres dimensiones.

#### *5.11.1 Clasificación de los programas informáticos*

Se puede intentar agrupar los diferentes programas de reconstrucción de siniestros viales según su relación con el mundo real que pretenden reflejar. En este supuesto, hay que verificar, por un lado, cual es el grado de exactitud de los modelos matemáticos de los objetos y personas que se ven involucradas en este tipo de fenómenos; y por otro lado, si se cumplen las leyes de la física que rigen el movimiento, las deformaciones y la energía.

En primer lugar, hay que diferenciar entre las imágenes generadas por ordenador que son películas que consisten en imágenes en movimiento creadas mediante un programa informático y la realidad virtual, en la cual, además, el ser humano puede interactuar con el entorno creado a través de mandos que se conectan con sus sentidos, la vista, el oído y el tacto.

Tomemos como punto de partida la siguiente clasificación de programas de generación de imágenes por ordenador, que es una parte de la realidad virtual que es algo más amplia (Bohan, 1995, p. 395):

- Animación. Es una serie de imágenes combinadas que son presentadas en una rápida sucesión para crear la ilusión de movimiento en los objetos en ellas contenidos.

- Animación científica. Es una animación producida para ilustrar como ocurren los hechos o como ocurrirían en el mundo real, o como una teoría científica propone que ocurrirían los hechos.
- Simulación. Es una secuencia de imágenes capaces de dar la sensación de movimiento continuo, siendo esta secuencia el resultado de los cálculos de un programa de ordenador.

En España, se suelen utilizar como sinónimos los siguientes términos: infograma, infografía, infografía forense, simulación, reconstrucción virtual, ficción informática, reconstrucción informática, animación por ordenador, reconstrucción informatizada, animación tridimensional y realidad virtual.

En Estados Unidos, en algún artículo especializado publicado por Sociedad de Ingenieros de Automoción (*Society of Automotive Engineers, SAE*) se utilizan otra multitud de términos como sinónimos: prueba demostrativa asistida por ordenador, gráficos de Tribunal, gráficos generados por ordenador, video-reconstrucción, presentación en video modificada por ordenador y videos asistidos por ordenador (Day, 1994, p. 423).

No es extraño que en un intento por poner un poco de orden entre los investigadores e ingenieros el Comité de Terminología de la Reconstrucción de Accidentes del Grupo de Trabajo en Procedimientos de Investigación de Sinistros de la SAE ofrezca las siguientes definiciones, semejantes a las anteriormente consignadas (Grimes, 1994, p. 367):

- Simulación. Es un modelo matemático que utiliza las condiciones iniciales, las propiedades físicas y las leyes de la física para predecir u ofrecer un modelo de movimiento reproduciendo una secuencia de eventos.
- Animación. Es el proceso por el cual se muestra el movimiento de un objeto.
- Visualización Científica. Es el proceso por el cual se muestran datos científicos.

A partir de estas definiciones se puede distinguir entre una animación y una visualización científica. La fuente de ambos es la misma, un programa informático, y en apariencia el resultado puede ser similar. Esta semejanza, en apariencia, no debe ocultarnos que se trata de resultados y productos completamente diferentes. En el caso de la visualización científica y de la simulación, el movimiento de los objetos esta siempre basado en la integración de los valores de las aceleraciones calculados de acuerdo con la Segunda Ley de Newton. De esta manera se puede asegurar que el movimiento es conforme con un sistema de simulación validado y contrastado con experiencias reales. El movimiento de objetos en una animación puede ser diseñado de acuerdo a los deseos del animador; de esta forma el movimiento puede ser o no valido según las leyes de la Física.

#### 5.11.2 Premisas de utilización

Con respecto a los programas informáticos de simulación o reconstrucción de siniestros viales, generalmente, se deben considerar las siguientes premisas:

- Un programa informático nunca puede ser la solución absoluta, ya que el resultado a conseguir dependerá de la calidad y cantidad de los datos disponibles.
- La mayoría de los programas pretenden ser una herramienta más de apoyo o comprobación en la metodología de investigación de siniestros viales.
- El resultado más relevante de la generalidad de los programas, no el único, viene expresado en el cálculo de la velocidad inicial del móvil.
- Las particulares limitaciones de los programas, con respecto a la casuística de los siniestros, en algunas ocasiones los convierten en complementarios unos de otros.
- Que a mayores prestaciones del programa o a una aplicación casuística más amplia, corresponde una mayor complejidad del mismo y debería corresponder una particular preparación de su operador.
- Que no es aconsejable la utilización de programas informáticos de reconstrucción de siniestros viales sin tener buenos conocimientos de los fundamentos físicos aplicables, sin conocer las simplificaciones, limitaciones y restricciones del programa informático y su módulo de cálculo o sin poseer experiencia de campo en la investigación de siniestros viales.

La infografía forense,–reconstrucción virtual, animación 3D,..., es una forma espectacular y resolutive de mostrar los resultados de una reconstrucción, donde se necesita el auxilio de un ordenador y un programa gráfico de animación 3D. No confundir esta técnica de animación, meramente visual, con la expresión en tres dimensiones de los resultados de un programa de reconstrucción o simulación de siniestros viales por ordenador sujeto a los exigentes condicionantes de la física.

### **5.12 Metodología llevada a cabo para la reconstrucción**

Una de las primeras precauciones que debe tenerse a la hora de exponer los resultados a que se llega con este tipo de programas es descartar que solo exista una solución posible a la forma en que pudo producirse un hecho de estas características. Ha de trabajarse con un rango de posibilidades. Cuanto más detallada sea la investigación material, menor será el rango de soluciones.

Así, en el caso de los programas científicos de reconstrucción de accidentes de tráfico que además pueden generar visualizaciones de sus resultados mediante la realidad virtual, los propios ingenieros que los diseñan ofrecen una serie de recomendaciones a los investigadores y peritos para utilizarlos adecuadamente (Day & Hargens, 1989, p. 136):

- Comprender el programa. Hay que revisar la literatura técnica que describe el programa antes de usarlo en casos concretos. Los seminarios de aprendizaje

y perfeccionamiento contribuyen de forma decisiva para conseguir este objetivo.

- Utilizar el programa dentro de las finalidades para las cuales fue desarrollado. No se puede aplicar un programa a colisiones que incluyan importantes factores que no han sido considerados en el diseño y desarrollo del programa.
- Realizar series de hipótesis y analizarlas. Se tiene que comprobar la sensibilidad potencial de las medidas y variables utilizadas al objeto de determinar cómo afectan a los resultados los pequeños errores en las mediciones.
- Presentar los resultados como un intervalo de posibilidades. Se pueden utilizar las series de análisis sobre las diferentes hipótesis para mostrar todas las posibles soluciones como un rango.
- Confirmar las conclusiones. Siempre que sea posible, no se debería llegar a conclusiones a partir de un solo análisis. Es necesario comprobar las afirmaciones efectuadas a través del uso de métodos independientes.
- Realizar una revisión crítica y cuidadosa de los resultados obtenidos. Se puede descubrir, con frecuencia, un mal uso no intencionado de los programas informáticos a través de una revisión cuidadosa y detallada de los análisis realizados con ellos. Durante esta visión crítica, en la aplicación del programa a un siniestro vial específico es un desafío asegurar que las simplificaciones del programa no son mal interpretadas, los datos de entrada son correctos y los resultados son físicamente posibles. Esta comprobación de los análisis es siempre valiosa antes de escribir un informe o dar un testimonio oral.

En los programas de simulación, mediante el procedimiento denominado prueba-error se van modulando y conjugando las diferentes posiciones y velocidades que pudieran haber tomado tanto el peatón como el vehículo en el momento del atropello al objeto de poder ir comprobando los puntos de impacto primarios y secundarios, que nos irán dando la dirección de partida del peatón, el desarrollo biocinemático peatonal, hasta que se consiga de una forma lógica llegar a las posiciones finales reales.

Para hacer efectivo el proceso de una reconstrucción, es necesario calcular la dinámica de las unidades de tráfico, partiendo de las posiciones finales hacia atrás, al objeto de obtener un resultado lógico en el punto de atropello, y a partir de aquí nuevamente hacia atrás para llegar a ubicar al vehículo y al peatón en sus posiciones iniciales, una vez configuradas las secuencias correspondientes, basadas en los datos objetivos obtenidos en el proceso investigativo.

## **6. CAUSAS DEL SINIESTRO VIAL**

El desarrollo secuencial del siniestro es la premisa necesaria para poder buscar, localizar e identificar las causas que han contribuido, de una u otra forma, al siniestro. No se trata aquí de analizar procesos ni fenómenos, sino de encontrar indicadores del estado de uno de los componentes del sistema del tráfico.

El objetivo último de toda investigación es averiguar lo que realmente sucedió en el siniestro vial, valiéndose para ello de los resultados del análisis de todas las acciones realizadas y de todas las condiciones presentes, pero esa meta puede dividirse, a su vez, en los cinco siguientes:

- Análisis o investigación de la colisión o impacto.
- Análisis o investigación de las lesiones.
- Análisis de la evitabilidad del siniestro vial.
- Análisis de la evitabilidad de las lesiones.
- Averiguación de las condiciones más importantes que contribuyeron a originar el accidente.

A la hora de analizar y exponer las causas de un siniestro vial pueden utilizarse dos sistemas diferentes: por un lado, dejar al investigador completa libertad para determinar las causas según su experiencia y su libre albedrío y, por otro lado, establecer una taxonomía de causas, que no es otra cosa que definir una clasificación u ordenación en grupos de causas que tienen unas características comunes. Es indudable que tanto uno como otro sistema tienen ventajas e inconvenientes indudables, por lo que se ha buscado una vía intermedia que es establecer un sistema de referencia de causas directamente relacionada con la estructura teórica de la evolución secuencial del siniestro vial seguida en MOSES, con una especial referencia al error humano como elemento causal principal.

El error humano se debe analizar siguiendo la evolución teórico secuencial de la teoría del PIEV que describe las funciones humanas, –Percepción, Intelección, Evaluación y Volición–, implicadas en la recopilación de información. Esto no implica que las personas funcionen de una manera lineal, ya que se sabe que existen numerosos procesos de retroalimentación entre las diferentes funciones y el procesamiento de datos.

*Tabla 13: clasificación del error humano de acuerdo con la teoría del PIEV*

PERCEPCIÓN	INTELECCIÓN	EVALUACION	VOLICIÓN	ACCIÓN	GLOBAL
Error en la adquisición de la información	Error en el diagnóstico de la situación	Error en predecir la situación	Error cuando decide llevar a cabo una maniobra específica	Error psicomotor en la ejecución de la acción	Error global
Fallo en la detección en condiciones desfavorables de visibilidad	Evaluación incorrecta de una anomalía en la carretera	Maniobra no esperada por otro usuario	Infracción directa	Control deficiente de una dificultad	Perdida de la habilidad psicofisiológica
Adquisición focalizada de la información	Evaluación incorrecta de una laguna de información	Adaptación esperada del otro usuario	Infracción deliberada	Problemas de guiado	Deterioro de las capacidades sensomotoras y cognitivas
Adquisición superficial de la información	Comprensión incorrecta de cómo funciona	No esperar ninguna perturbación al frente	Infracción por error		Exceder la capacidad cognitiva
Interrupción en la adquisición de la información	Comprensión incorrecta de las maniobras llevadas a cabo por otro usuario				
El descuido en las demandas de adquisición de la información					

En esta tesis no se considera adecuado establecer una taxonomía de causas de los siniestros viales, por más que el modelo y método HFACS puedan servir de referencia, sino que es mejor dejar su establecimiento como libre configuración pero con el cumplimiento de ciertas reglas:

- Las causas deben ser estructuradas en las fases de previaje, viaje y preimpacto, principalmente teniendo en cuenta la Teoría del PIEV.
- La determinación de las causas y condiciones que llevan a la ocurrencia del Evento Crítico es un análisis estrictamente necesario en este método, pero no es suficiente para la completa determinación de las causas del siniestro vial. El ECRIT tampoco prejuzga la responsabilidad derivada del siniestro vial.
- Las condiciones son modificadores de la acción que causa un evento determinado, por ejemplo, una maniobra evasiva de frenada a una velocidad que no supere los límites de velocidad normalmente no supone la pérdida de control del vehículo, pero si las condiciones de la vía hacen que exista agua o hielo en la superficie convierte esa misma velocidad en inadecuada y a la acción de frenar en esas condiciones en la causa de la pérdida de control.
- El nivel de detalle de la causa se deberá limitar, en principio, a los niveles expuestos en este epígrafe.

## **7. CONCLUSIONES**

En este Capítulo se ha abordado la cuestión de la metodología a utilizar en una investigación en profundidad sobre siniestros viales en el marco de un hipotético sistema avanzado aplicable en España, confirmando la hipótesis afirmativa sobre la existencia de esa metodología y su interrelación con el modelo MOSES formulado previamente.

Las conclusiones que se han alcanzado a lo largo de todo el Capítulo pueden ser sumariamente enumeradas a continuación:

- Las perspectivas con las cuales se aborda la investigación de siniestros viales dependen de la formación del investigador y de cuales sean sus referencias científicas.
- Una investigación multidisciplinar se consigue principalmente a través de la integración en la metodología utilizada por un equipo de investigadores de diferentes perspectivas, más que por la heterogeneidad en la titulación de sus integrantes.
- El método científico es el único que puede ser utilizado en la investigación de siniestros viales, independientemente de quien sea el investigador, los fines que persiga y la institución a la que pertenezca.
- Existen dos planos, al menos, en la investigación de siniestros viales, por un lado, la microinvestigación o aproximación clínica y, por otro lado, la macroinvestigación o aproximación estadística. En cualquier sistema avanzado de investigación, estos planos deberían estar interrelacionados entre



si y además ser alimentados como fuente externa de conocimiento por la investigación básica en un determinado campo del saber.

- La calidad de un sistema de investigación depende de una serie de factores y circunstancias que afectan al resultado final de la misma, entre ellos cabe citar: la preparación y formación del personal investigador, los medios materiales y tecnológicos utilizados, la inmediatez y continuidad de la investigación, las tipologías de siniestros investigadas, el tamaño de la muestra y el ámbito geográfico de la investigación.
- Los niveles clásicos de la investigación son categorías apriorísticas indeterminadas e indefinidas que pueden ser superados en un sistema avanzado de investigación que busque la calidad más allá de las etiquetas o los prejuicios. El nivel en profundidad debe articularse a través de la cooperación, la colaboración y la suma de sinergias y conocimientos en torno a un equipo de investigación básicamente policial que aplique perspectivas multidisciplinarias a su metodología científica.
- Las finalidades de las instituciones públicas, privadas y las empresas pueden armonizarse y complementarse entre sí, sin exclusiones ni imposiciones. Cualquier mejora en la investigación de siniestros viales que aporte un mayor conocimiento sobre los eventos y las causas de estos hechos incrementaría el nivel de justicia a la hora de juzgar las responsabilidades por el siniestro vial, pero también la eficiencia a la hora de adoptar medidas preventivas y la información pública puede revertir en las empresas para mejorar sus productos e crear nuevos productos a partir de la innovación.
- La solución propuesta en esta tesis para abordar los problemas planteados en este Capítulo es un sistema avanzado de investigación en profundidad que integre junto a la investigación policial, el apoyo y la investigación de una Red de Centros Científicos de Referencia que mejoren sustancialmente el nivel micro de la investigación. La Dirección General de Tráfico al analizar masivamente los datos obtenidos en esta muestra universal de alcance nacional, tanto en el ámbito urbano como en el ámbito interurbano, puede aplicar modelos macroestadísticos que permitirían adoptar medidas preventivas de forma científica en base a una amplia cantidad de información de calidad. La mejora de la investigación básica y la innovación en esos Centros de Referencia vendrían de la mano del acceso y uso de los datos obtenidos para ampliar y renovar sus conocimientos de la realidad de los siniestros viales en España.
- Del estado del arte puede concluirse que la metodología de la investigación de siniestros viales debería ser una evolución de la metodología clásica aplicada en la que se introduzcan las mejoras incorporadas por los proyectos europeos llevados a cabo en el presente siglo.
- La metodología de la investigación de siniestros viales utilizada en esta tesis comienza por el procesamiento de la escena de los hechos, continúa con las investigaciones complementarias para ampliar y complementar los información obtenida en el procesamiento, en las cuales participan diferentes

instituciones, centros y profesionales, lo cual aporta un conjunto de datos necesarios para afrontar las hipótesis que permitirán realizar una reconstrucción técnica de los eventos y acciones de acuerdo con el modelo MOSES y finalmente realizar un análisis de las causas y condiciones que explican por qué ha sucedido el siniestro vial investigado.

- En el procesamiento de la escena se aplican los principios de la Criminalística, junto con una serie de técnicas características de esta ciencia y otras importadas de otras disciplinas, en un procedimiento propio denominado MITOS desarrollado a partir del modelo MOSES que permitirá identificar, registrar y recoger las evidencias, obtener las fotografías y videos de la escena, realizar las mediciones de la misma y volcarlas en un croquis. Los testimonios y otras pruebas perentorias se obtendrán, principalmente, en la escena del siniestro, de forma simultánea o secuencial con el procesamiento.
- Las investigaciones complementarias suponen un verdadero reto para el sistema avanzado propuesto porque deberían integrar los esfuerzos de diversas instituciones públicas, privadas y empresas para conseguir una mejora cuantitativa y cualitativa de los datos sobre los siniestros viales con víctimas que ocurren en España en relación con el factor humano, el factor socionormativo, la ingeniería del automóvil y la ingeniería de la vía.
- La reconstrucción técnica de los eventos del siniestro vial se realiza aplicando una teoría de procesamiento de la información por parte del ser humano junto a los principios y leyes de la mecánica newtoniana, de acuerdo con el modelo MOSES, de tal forma que queden localizados en el espacio y en el tiempo determinados eventos y las posiciones que ocupaban los vehículos y las personas implicados, así como las variables dinámicas asociadas a ellos en esas posiciones.
- Partiendo del estudio y determinación de las condiciones que han modificado las acciones de los subsistemas viales, y por lo tanto han mediatizado el resultado de cada uno de los eventos que se han sucedido hasta acabar en el impacto determinante del siniestro, se realizará el análisis de las causas, desde las más cercanas a las más remotas, que han contribuido a su ocurrencia o la gravedad de las lesiones.



# Capítulo 4

## LA APLICACIÓN DE MOSES AL ATROPELLO A PEATONES

### I. ESTADO DEL ARTE

La Comisión Económica de las Naciones Unidas para Europa (*United Nations Economic Commission for Europe, UNECE*) considera, en su base de datos sobre transporte, que un siniestro vial entre un vehículo y un peatón es aquel en que se encuentran involucrados uno o varios vehículos y peatones, con independencia de que el peatón haya participado en la primera o en una fase posterior del siniestro vial y de si el peatón resultó herido o muerto dentro o fuera de la calzada (UNECE, 2009, p. 69).

En este contexto, un peatón es cualquier persona implicada en un siniestro vial que no estaba conduciendo ni era ocupante, en el momento en que ocurrieron los hechos, de un vehículo de motor, un tren, de un ciclomotor ni de otro tipo de vehículo, ni tampoco iba montado en un ciclo de pedales o en un animal. En este concepto se incluye a cualquier persona que estuviera cambiando uno de los neumáticos del vehículo o realizando una comprobación o reparación del mismo, así como a los usuarios a pie de un transporte peatonal, tal como un carrito de niños, unos patines de ruedas, un patinete, un cochecillo de niño, un carro de la compra, unos esquís, un trineo o una silla de ruedas, con o sin motor.

En España, a tenor de lo dispuesto en la Orden Ministerial INT/2223/2014, de 27 de octubre, por la que se regula la comunicación de la información al Registro Nacional de Víctimas de Accidentes de Tráfico, peatón es *“Toda persona que, sin ser conductor ni pasajero, se ve implicada en un accidente de circulación. Se consideran peatones quienes empujan o arrastran un coche de niño o de una persona con movilidad reducida o cualquier otro vehículo sin motor de pequeñas dimensiones, los que conducen a pie un ciclo, ciclomotor o motocicleta; las personas que se desplazan en silla de ruedas, con o sin motor; las personas que se desplazan sobre patines u otros artefactos parecidos; las personas que se encuentran reparando el vehículo, empujándolo o realizando otra operación fuera del mismo; los conductores o pasajeros que, tras haber abandonado sus vehículos, son arrollados mientras se alejan de los mismos caminando. También se consideran peatones, a los solos efectos de la cumplimentación de los formularios de accidentes, y sin perjuicio de las definiciones establecidas con carácter general en el anexo I del texto articulado de la Ley sobre Tráfico, Circulación de Vehículos a Motor y Seguridad Vial, las personas que se desplazan sobre un animal de monta y las personas que guían un animal o animales”*.

En esta tesis no se considerarán atropellos a peatones los casos de personas montadas en animales de monta, ni los atropellos a los propios animales guiados.

## **1. TIPOLOGIAS DE ATROPELLOS A PEATONES**

Cuando se hace referencia a un atropello a peatón, normalmente se visualiza un impacto del frontal de un vehículo con el peatón en posición erguida, así también ha sido analizado por la Ingeniería y la Biomecánica. Desde la perspectiva de la investigación genérica de siniestros viales, esta identificación del atropello con uno de sus tipos, -el frontal-, por mucho que sea el más numeroso, no tiene mucho sentido. Así, en Medicina Legal se consideran típicos los atropellos completos, cuyas fases serían impacto, proyección, caída, aplastamiento y arrastre, pero además se estudian y clasifican los atropellos con aplastamiento y los atropellos con arrastre como sucesos típicos incompletos (Gisbert Calabuig & Villanueva Cañadas, 2004, p. 376; Rodríguez Jouvencel, 2000, p. 132).

La tipología de atropellos a peatones que establece el cuestionario estadístico de siniestros viales de la citada Orden Ministerial INT/2223/2014, según la acción llevada a cabo por el peatón, es la siguiente:

- Saliendo entre vehículos aparcados.
- En la calzada delante de la parada del bus.
- Cruzando la calzada justo antes de una intersección
- Cruzando la calzada justo después de una intersección
- Cruzando la calzada en intersección
- Cruzando la calzada en sección.
- Caminando o parado en la acera o refugio.
- Caminando por la acera o arcén.
- Parado en la calzada o arcén.
- Trabajando en la calzada o arcén.
- Reparando el vehículo.
- Servicio auxilio en carretera.
- Precipitación a la vía (puente, edificio,...).
- Irrumpe en la calzada corriendo jugando.
- Auxiliando accidente anterior.
- Se desconoce.

Realmente, más que una tipología de atropellos lo que se establece en la base de datos sobre víctimas de siniestros viales en España es una clasificación de los escenarios básicos de atropello que se pueden observar en nuestro país.

Por este motivo se ha desarrollado la siguiente clasificación tipológica que puede ser utilizada para catalogar todo tipo de atropellos en una base de datos en profundidad.

### **1.1 Tipología del vehículo implicado en el atropello**

El primer criterio de clasificación de los atropellos es la tipología del vehículo implicado y, en base a él, se pueden diferenciar los siguientes:

- Automóvil (A).
- Furgón (V).

- Vehículo pesado (H).
- Autobús (B).
- Vehículo de dos ruedas: motocicleta, ciclomotor y bicicleta (T).

En la tabla inferior, se insertan las imágenes de cada tipología de vehículos arriba definida, a efectos de la clasificación de los atropellos:

ATROPELLO SEGÚN TIPO DEL VEHÍCULO			
Automóvil (A)	Furgón (V)	Vehículo pesado (H)	Motocicleta (T)
			
		Autobus (B) 	

Figura 32: Criterio del atropello según el tipo de vehículo

En un estudio realizado por el TRL sobre los atropellos registrados en Londres, entre 2006 y 2010, se analizaron 197 casos en los que estaban involucrados 205 vehículos, aunque no todos atropellaron a peatones. La distribución de los diferentes tipos de vehículos que atropellaron a un peatón se muestra en la siguiente tabla (Knowles, et al., 2012, p. 19):

Tabla 14: Distribución porcentual de los diferentes tipos de vehículos implicados en atropellos en Londres

Atropellos según el tipo de vehículos				
Tipo de vehículo implicado	Vehículo impacta con el peatón	Porcentaje cada tipo de vehículo	Otro vehículo implicado	Total vehículos
Automóvil/taxi	111	56,35%	7	118
Autobús	33	16,75%	0	33
HGV (Vehículo pesado)	27	13,71%	1	28
LGV (Vehículo ligero)	12	6,09%	0	12
Motocicleta	14	7,11%	0	14
<b>Número de vehículos</b>	<b>197</b>	<b>100,00%</b>	<b>8</b>	<b>205</b>

La clasificación de los diferentes tipos de vehículos realizada por el TRL coincide con la presentada en este trabajo, ya que los vehículos ligeros de mercancías (LGV) son prácticamente coincidentes con los furgones. Por el contrario, los vehículos de dos ruedas en el estudio del TRL son reducidos a tan solo las motocicletas.

En la mayoría de los atropellos se encuentra involucrado un turismo, pero la lesividad de los atropellos de vehículos pesados y furgones es superior. Esta afirmación se basa en numerosos estudios, entre ellos, el proyecto APROSYS, en el marco del cual la Universidad Politécnica de Graz y la Universidad de Estrasburgo realizaron una investigación sobre los siniestros viales en los que estaban involucrados usuarios vulnerables de la vía (VRU) y vehículos pesados de mercancías (HGV), con el objetivo



de conocer mejor las interacciones entre ambos en el curso del impacto para determinar el denominado índice de agresividad (HVAI) como herramienta de evaluación del riesgo que suponen los HGV para los peatones y el resto de usuarios vulnerables de la vía (Van Schijndel-de Nooij, et al., 2009, p. 60). Hay que hacer notar que esta metodología de investigación solo puede aplicarse desde una clasificación tipológica que tenga en cuenta el tipo de vehículo.

Existen, además, otras múltiples posibilidades de clasificar los atropellos teniendo como criterio el tipo de vehículo implicado: según la masa del vehículo, por ejemplo atropello por vehículo todoterreno; o sin pretender exhaustivo, según la geometría del frontal del vehículo, por ejemplo el atropello por un vehículo tipo sedán o el atropello por vehículo de frontal plano. Estas variables, aun siendo una información importante en el marco de la investigación del atropello, no se consideran relevantes para su determinación tipológica.

## 1.2 Parte del vehículo que impacta con el peatón

Si se atiende a la parte del vehículo que impacta con el peatón, se tienen cuatro posibles configuraciones del atropello:

- Frontal (F)
- Trasero (B)
- Lateral izquierdo (L)
- Lateral derecho (R)

A continuación se insertan las imágenes de cada tipología de atropellos, si se tiene en cuenta la parte afectada del vehículo:

Tabla 15: Tipología de atropellos según la parte afectada del vehículo

ATROPELLO PARTE AFECTADA VEHÍCULO			
Frontal (F)	Trasero (B)	Lateral Izda. (L)	Lateral Dcha. (R)
			

En una investigación en profundidad sobre atropellos a peatones llevada a cabo en los Estados Unidos de Norteamérica, denominada PICS (*Pedestrian Injury Causation Study*), uno de las materias que fue objeto de estudio fue la distribución de la frecuencia de impactos de los peatones en cada una de las partes de contacto del vehículo. En la figura abajo inserta, se exponen los porcentajes correspondientes a cada zona, resaltando que los atropellos con el frontal del vehículo constituyen, aproximadamente, el 80% de los accidentes reales recogidos en la base de datos PICS (Ravani, et al., 1980; Ravani, et al., 1981, p. 793).



Figura 33: Distribución porcentual en el Estudio PICS de las zonas de contacto del peatón con el vehículo

Aunque las esquinas son interesantes a efectos de la determinación de la dinámica del cuerpo del peatón con posterioridad al impacto, en este trabajo se ha optado por simplificar este criterio incluyéndolas en el frontal.

Además, según la acción evasiva que el conductor haya adoptado, al observar al peatón en la trayectoria de su vehículo, el vehículo podrá estar:

- Frenando
- Acelerando
- Cambiando de dirección

Algunas veces los estudios sobre atropellos solo se centran en la acción de frenado para determinar, tan sólo, si el vehículo estaba frenando, o no, en el momento de atropellar al peatón. Así, en un estudio epidemiológico alemán llevado a cabo a principios del presente siglo, en el marco del proyecto europeo APROSYS, se determinó que el 42 % de los vehículos no estaba frenando, mientras que el otro 42 % si lo hacía, y además se estableció que el 16 % del total de vehículos llevó a cabo una fuerte frenada de emergencia. Como es lógico la maniobra evasiva de frenado redundaba en un beneficio para el peatón a través de la disminución de la velocidad de atropello, ya que si el conductor consigue accionar el sistema de frenado esta velocidad puede llegar a reducirse significativamente. La velocidad media, en el momento del impacto, de los vehículos que estaban frenando fue de 40,8 km/h, mientras que la de los que no estaban frenando fue de 38,4 km/h (Carter, 2006, p. 17).

### 1.3 Edad del peatón

El siguiente criterio a aplicar es el correspondiente a la edad del peatón. Esta variable, que será tomada en cuenta de forma indirecta, lleva a diferenciar entre atropello a:

- Niño (C)
- Adulto (A)
- Persona de edad avanzada (O)

Para aplicar este criterio se considera que un niño tiene menos de doce años, que una persona de edad avanzada tiene más de sesenta y cinco años y que, por lo tanto, la edad de una persona adulta se sitúa entre los trece y los sesenta y cinco años. No se utiliza



el término persona de edad avanzada con ningún afán peyorativo, sino pensando que es la expresión de una sola palabra que mejor abarca a un grupo de personas que debido a su edad tienen un determinado comportamiento previo al impacto y unos problemas específicos con posterioridad al mismo. En la Figura 34 se inserta una imagen de cada uno de los tres tipos de personas, según su edad, a efectos de la clasificación de los atropellos:

EDAD DEL PEATÓN		
Niño (C)	Adulto (A)	Persona de edad avanzada (O)
		

Figura 34: Clasificación del peatón según su edad

Si se estudia con atención la distribución de edades de los peatones víctimas de atropellos en España, tanto en zona urbana como interurbana, puede observarse que la cifra más numerosa, relativamente, se concentra en las personas que tienen más de 65 años, seguidas por los jóvenes de 15 a 24 años prácticamente igualados por los niños de 5 a 14 años (DGT, 2013, p. 96; DGT, 2014, p. 54).

Tabla 16: Distribución de las edades de los peatones atropellados en España

EIDADES							
AÑOS	0 a 4	5 a 14	15 a 24	25 a 64	65 y más	No especificada	TOTAL
1991	519	2727	2456	6493	3965	587	16747
1992	458	2375	2154	5709	3546	557	14799
1993	400	2077	1983	5090	3247	1203	14000
1994	452	2040	1879	4956	3560	1094	13981
1995	387	1976	1858	4991	3611	1102	13925
1996	418	1913	1796	5151	3447	1224	13949
1997	390	1779	1804	5123	3682	966	13744
1998	396	1738	1732	5353	3643	1041	13903
1999	295	1612	1597	5027	3557	1034	13122
2000	304	1407	1607	5201	3559	1420	13498
2001	329	1358	1559	5048	3435	1329	13058
2002	320	1291	1328	5045	3331	1589	12904
2003	329	1300	1337	4905	3151	1580	12602
2004	339	1200	1243	4684	3154	1501	12121
2005	345	1250	1212	4812	3043	962	11624
2006	343	1172	1251	5026	2947	1027	11766
2007	294	1098	1181	4928	2934	994	11429
2008	305	1148	1240	4762	2993	698	11146
2009	338	1092	1169	4810	2940	538	10887
2010	310	1109	1143	4838	2930	593	10923
2011	349	1236	1236	4684	3027	703	11245
2012	373	1148	1178	4771	3132	549	11151
2013	415	1297	1356	5317	3355	604	12334

La edad y el género del peatón atropellado determinan su altura, su peso y su corpulencia, así como su estructura ósea y muscular. Aunque las mujeres suelen ser

estadísticamente de menor envergadura y talla, no se introduce el género como criterio adicional porque a efectos del atropello no tiene una especial relevancia, por lo que se tendrá en cuenta solamente su edad. Estas variables están directamente relacionadas con las lesiones que sufriría un peatón en el caso de ser atropellado. También, la estatura relativa del peatón con respecto al parachoques del vehículo determina su dinámica postimpacto.

#### 1.4 Postura del peatón

El primer criterio, en importancia, relativo al peatón que permite establecer una clasificación de los diferentes tipos de atropello es su posición relativa al vehículo y a la vía. Así se pueden establecer, simplifícadamente, las siguientes posturas del peatón:

- Erguido de pie (S).
- Sentado (G).
- Arrodillado (K).
- Tumbado (L).

A continuación se puede observar una representación gráfica de cada una de las posiciones en las que se puede encontrar el peatón al ser atropellado por el vehículo:



Figura 35: Diferentes posturas del peatón al ser atropellado por el vehículo

En el estudio del TRL antes citado, la mayoría de las personas estaban de pie en el momento del impacto. Se incluyen dentro del estudio catorce peatones que tropezaron o se cayeron en la calzada por diversos motivos, entre los que se encuentran nueve que perdieron el equilibrio por el consumo de alcohol o drogas (Knowles, et al., 2012, p. 31).

Tabla 17: Distribución porcentual de las diferentes posturas del peatón al ser atropellado por el vehículo

Postura del peatón	Total	Porcentaje
Caído en la calzada	14	7,07%
Tumbado en la calzada	1	0,51%
En sillita o cochecito	2	1,01%
Otra postura	1	0,51%
De pie	169	85,35%
Desconocida	11	5,56%
<b>Total muertos</b>	<b>198</b>	<b>100,00%</b>

Básicamente, la clasificación del TRL coincide con la realizada en este trabajo, salvo la referencia a los que iban en sillita o cochecito, que como puede observarse tiene una incidencia mínima.



### 1.5 Posición relativa del peatón respecto al vehículo

A su vez, como subcriterio de la posición del peatón erguido se pueden diferenciar diversas orientaciones respecto al frontal del vehículo. De esta forma un atropello a un peatón de pie, puede subdividirse, según sea su orientación en relación con el vehículo que lo atropella, en:

- Frente (F).
- Lateral derecho (R).
- Lateral izquierdo (L).
- Espaldas (B).

En el cuadro siguiente se pueden ver las diferentes configuraciones de un atropello de acuerdo con la posición relativa del peatón respecto del vehículo:



Figura 36: Posiciones relativas del peatón respecto del vehículo

Dependiendo de cada una de las posibles orientaciones relativas, la evolución dinámica del atropello varía considerablemente, ya que de acuerdo con la Biomecánica, el cuerpo humano no tiene el mismo comportamiento frente al mismo tipo de impacto si se varía su plano de orientación. En la imagen puede verse la evolución de un atropello en el cual la persona se encuentra de espaldas:



Figura 37: Secuencia real de un atropello frontal a un peatón que se encuentra de pie y de espaldas

Aunque no se ha incluido como criterio, una información interesante a determinar, y relacionada con la anterior, es la acción o comportamiento que el peatón estaba realizando en el momento del atropello. De acuerdo con esto se tendrían tres posibles acciones:

- Parado
- Caminando
- Corriendo

Este dato es relevante a efectos de conseguir determinar la velocidad de circulación del vehículo en el momento del hecho, ya que indirectamente facilita la información sobre la velocidad de desplazamiento del propio peatón en la fase de preimpacto del atropello.

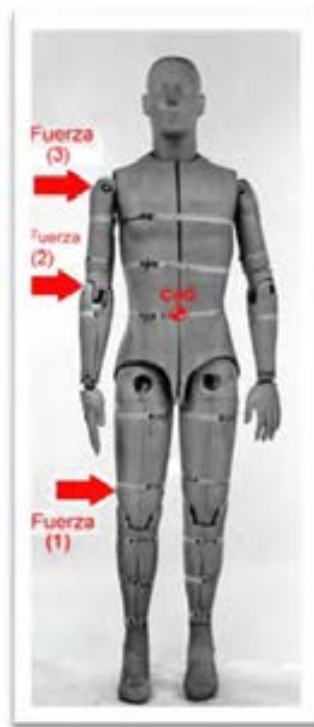
Realmente, hasta el momento, no se ha abordado de forma sistemática y completa la formulación de una clasificación tipológica de los atropellos a peatones.

## **2. CINEMÁTICA DEL PEATÓN EN UN ATROPELLO FRONTAL**

Normalmente, en la mayoría de los estudios publicados sobre atropellos a peatones se realiza una simplificación de las diferentes tipologías posibles para centrarse en los casos en que el impacto se produce con la parte frontal del vehículo, y a partir de aquí aplicar una diferenciación tipológica de acuerdo a las diferentes trayectorias posimpacto del peatón que pudieran darse (Eubanks & Haight, 1992a, p. 37; Field, 2003, p. 14). Se suele argumentar para realizar esta simplificación que el primer punto de contacto del peatón con el vehículo se encuentra situado en su parte frontal en cuatro de cada cinco atropellos (Ravani, et al., 1981, p. 794).

Si establecemos un equilibrio de fuerzas y momentos en el peatón en el momento del impacto con el vehículo, los atropellos con el frontal del vehículo pueden dividirse en tres categorías basadas en la posición relativa del punto de impacto del vehículo y la altura del peatón. Esta relación puede ser establecida en términos de localización del centro de gravedad del peatón (CdG) y del punto de aplicación de la fuerza de impacto ejercida por el frontal del vehículo, generalmente, a la altura del parachoques en los turismos (Fricke & Baker, 1990, pp. 77-9; Wood, 1995, p. 79; Toor & Araszewski, 2003, p. 118; Fredriksson, et al., 2007, p. 7).

Estas tres categorías de colisiones frontales, de acuerdo con lo que puede observarse en la Figura 38, podrían establecerse de la siguiente manera: en primer lugar, se encuentra aquella en la cual el CdG está por encima de la parte superior del frontal del vehículo que lo golpea; en segundo lugar, se tiene la que el CdG está entre la parte inferior y superior del frontal del vehículo; y finalmente, aquella en la que el CdG está por debajo de la parte inferior del frontal del vehículo.



*Figura 38: Categorización de los impactos a peatones*

Este planteamiento teórico del movimiento y la rotación de las diferentes partes del cuerpo del peatón se ha visto ratificado por diferentes experimentos con maniqués y cadáveres y por pruebas sobre casos reales (Fredriksson, et al., 2007, p. 5). Tanto en unos como otros se han obtenido grabaciones en video, de mayor o menor calidad, que confirman lo expuesto y, además, las de mayor calidad permiten realizar un minucioso análisis de la trayectoria completa del peatón al ser atropellado por el frontal de un vehículo.

Si se observase por un momento uno de esos videos, se podría vislumbrar que en la fase de impactos entre el peatón y el vehículo, los contactos de los diversos miembros del cuerpo con las diferentes partes del vehículo ocurren de forma sucesiva. A partir del primer contacto entre la parte inferior del cuerpo del peatón y el parachoques del vehículo, el cuerpo del primero sigue unos patrones cinemáticos que determinan la biomecánica del choque, el mecanismo, la localización y la gravedad de las lesiones.

La cinemática de los peatones atropellados e, indirectamente, la distribución de las lesiones que sufren vienen determinadas por múltiples factores:

- La velocidad de impacto.
- La deceleración del vehículo, así como la presencia o ausencia de maniobra de frenado.
- La geometría del vehículo (geometría, medidas del frontal, altura del paragolpes, masa y rigidez de sus elementos).
- Los datos antropométricos del peatón, especialmente su talla y su peso.

- La posición del peatón con respecto al frontal del vehículo en el momento del impacto.
- Velocidad y dirección del peatón.
- Extensión y continuidad de la interacción vehículo/peatón y la restitución.
- Extensión del contacto entre el pie del peatón y el suelo.
- Duración del impacto.
- La trayectoria post-impacto del peatón.
- El impacto contra el suelo.
- El movimiento sobre el suelo.

Cuando un vehículo golpea a un peatón, el movimiento de éste desde el impacto hasta alcanzar la posición de reposo puede ser analizado en tres fases:

- Fase de contacto.
- Fase de vuelo.
- Fase de desplazamiento por la superficie de la vía.

A continuación se detalla cada una de estas fases para una mejor comprensión, a pesar de su complejidad, de la secuencia de impactos.

## **2.1 Fase de contacto**

En la fase de contacto, como regla general en un atropello a un peatón, hay tres subcategorías de contactos entre el peatón y el vehículo. El primer impacto se produce entre la pierna del peatón y el parachoques del vehículo. Esto es seguido de inmediato por un impacto con la parte final del capó contra el muslo del peatón y la región pélvica. Como resultado de estos dos impactos, principalmente el segundo, la parte superior del cuerpo y la cabeza comienzan a girar hacia delante y hacia abajo en dirección al vehículo, lo que desemboca en un tercer impacto, cuando el torso superior del peatón y, en su caso, la cabeza golpea la parte superior del capó y, a menudo, el cristal del parabrisas.

En colisiones con altas o moderadas velocidades de impacto, la distancia que media entre el suelo a la altura del frontal del vehículo y el punto del vehículo donde golpea la cabeza recibe el nombre de Distancia de Perimétrica de Envolvimiento (*WAD, Wrap Around Distance*) que es superior a la altura total del peatón.

Cronológicamente, hay un breve periodo de tiempo, sin tener en cuenta el diseño del frontal del vehículo que lo atropella, donde el peatón es “atrapado” por el frontal del vehículo mientras se mueve en la dirección en la que el vehículo se estaba moviendo cuando golpea al peatón y acelera hasta la velocidad del vehículo o a una muy próxima a

ella. Generalmente, el peatón que es transportado encima del capó del vehículo exhibirá algún movimiento relacionado con su componente de velocidad inicial.

Si el cuerpo es de alguna forma lanzado desde el capó al parabrisas, habrá alcanzado el mismo módulo de velocidad que el vehículo que lo atropella o un porcentaje determinado del mismo. Si el cuerpo se mueve hacia el parabrisas, habrá alcanzado aproximadamente una velocidad próxima a la del vehículo. Si el cuerpo no es atrapado por el cristal del parabrisas, y el diseño convexo del mismo rechaza el cuerpo a un lado del vehículo y sale despedido, el cuerpo tendrá una dirección de salida diferente a la del vehículo en el momento de la separación. Si el cuerpo es lanzado al parabrisas y por encima del techo, no tendrá probablemente la misma velocidad que la del vehículo.

Alternativamente, si el coche empieza a detenerse, generalmente como resultado de la aplicación de los frenos, el vehículo probablemente decelerará más deprisa que el cuerpo, mientras el cuerpo está todavía en el aire o en el vehículo. El vehículo, asumiendo un valor de un coeficiente de rozamiento medio sobre la calzada de 0,69 decelerará a  $6,7 \text{ m/s}^2$ . El cuerpo está deslizando sobre la superficie del vehículo decelerando a través del capó a un coeficiente de rozamiento cercano a un valor de 0,3 o una proporción de deceleración de  $2,9 \text{ m/s}^2$ .

## **2.2 Fase de vuelo**

La fase de vuelo puede variar en su trayectoria y alcance en función del ángulo de salida y de la velocidad inicial del peatón.

A partir de la localización del primer impacto entre el vehículo y el cuerpo del peatón, se pueden diferenciar dos trayectorias diferentes para su centro de gravedad: por un lado, una proyección vertical angular que se correspondería con la subcategoría (1) de la Figura 38 y, por otro lado, una proyección horizontal que se correspondería con las localizaciones de las Fuerzas (2) y (3) de la misma Figura.

### *2.2.1 Trayectoria de proyección vertical angular*

Cuando la fuerza de impacto de un vehículo sobre un peatón se encuentra situada por debajo de su centro de gravedad, entonces se produce un giro de la parte superior del cuerpo hacia el vehículo con sucesivos impactos que finalizan con una aceleración del cuerpo del peatón hasta alcanzar la velocidad del vehículo, o una semejante, y un ángulo de salida.

Si se considera el movimiento del centro de gravedad del peatón como el de una partícula, su representación gráfica sería la siguiente:

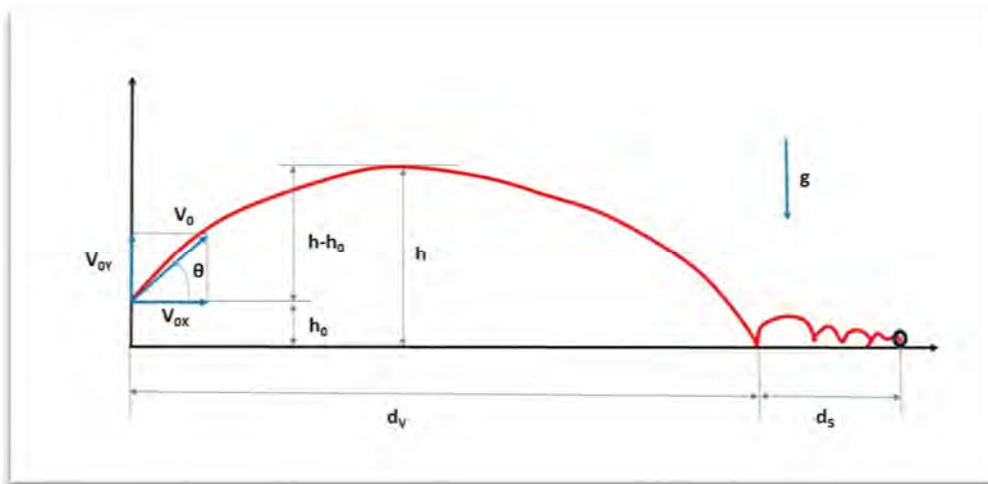


Figura 39: Movimiento del cdg de un peatón atropellado con una trayectoria vertical dentro del campo gravitatorio hasta su completa detención.

Donde:

- $S$  = distancia de proyección ( $d_v + d_s$ ) es la distancia que separa el punto de atropello de la posición final del centro de gravedad (cgd) de la víctima sobre la vía.
- $V_0$  = velocidad de salida del peatón (componentes  $V_{0x}$  y  $V_{0y}$ ).
- $h$  = altura total alcanzada por el cdg del peatón.
- $h_0$  = altura inicial de salida del peatón (generalmente altura del capó del vehículo).
- $\theta$  = ángulo de salida del cdg del peatón.
- $g$  = aceleración de la gravedad ( $9,8 \text{ m/s}^2$ ).
- $\mu$  = coeficiente de rozamiento peatón-suelo.

Aplicando las leyes de Newton, el equilibrio de fuerzas y otros principios físicos se pueden obtener diferentes modelos matemáticos que son abordados posteriormente en este Capítulo.

### 2.2.2 Trayectoria de proyección horizontal

En esta subcategoría, el impacto, que ahora pasa a través del centro de gravedad, acelera el cuerpo completo de la víctima a la velocidad del vehículo que lo golpea, y esencialmente lo proyecta hacia delante en un vuelo horizontal. En este tipo de colisión, son la pelvis, el abdomen y la parte superior del torso del peatón, las partes inicialmente golpeadas por el vehículo y las que sufren las correspondientes lesiones. Cuando se encuentran implicados vehículos pesados, el frontal del vehículo puede ser lo suficientemente alto para que la cabeza resulte golpeada, también, en este primer impacto. En los supuestos más comunes, la parte superior del frontal del vehículo está por debajo



del nivel de la cabeza, y este primer impacto produce un efecto de pivote en la cabeza que se dirige con la cara hacia abajo golpeando la superficie del capó o del cristal de parabrisas del vehículo.



Figura 40: Impacto por encima del centro de gravedad

Esta categoría de atropello usualmente implica que los vehículos no está frenando a fondo durante la secuencia del atropello o cuando la frenada no se produce hasta después del impacto. La intrusión puede ocurrir en este tipo de accidentes incluso a baja velocidad.

Considerando nuevamente el movimiento del centro de gravedad de un peatón como una partícula, su representación gráfica sería la siguiente:

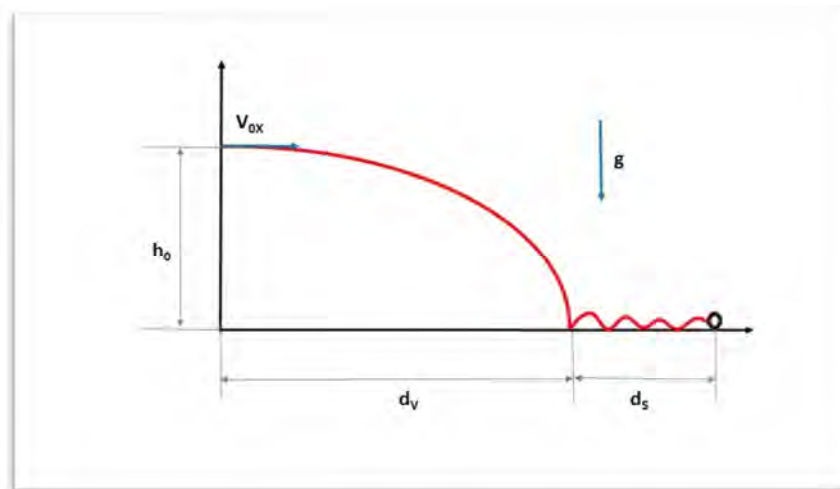


Figura 41: Movimiento del cdg de un peatón atropellado con una trayectoria horizontal dentro del campo gravitatorio hasta su completa detención

Donde:

- $S$  = distancia de proyección ( $d_v+d_s$ ) es la distancia que separa el punto de atropello de la posición final del centro de gravedad (cdg) de la víctima sobre la vía.
- $V_0 = V_{0x}$  velocidad de salida (solo existe componente x).
- $h_0$  = altura inicial de salida del peatón, generalmente, en este caso la de su cdg ( $d_0$ ).
- $g$  = aceleración de la gravedad ( $9,8 \text{ m/s}^2$ ).
- $\mu_p$  = coeficiente de rozamiento peatón-suelo.

Este es un caso particular de la trayectoria anterior en la que el ángulo de salida es cero o próximo a este valor.

### 2.3 Fase de desplazamiento sobre la superficie de la vía

El siguiente fenómeno experimentado por el peatón será una abrupta aceleración negativa cuando el cuerpo impacta en el suelo. El cuerpo puede, entonces, volver a volar brevemente, a consecuencia del rebote y de nuevo retorna al suelo y experimenta otra abrupta deceleración. El cuerpo puede caerse o rodar alguna distancia en el suelo. Puede también deslizar otra distancia.

Cada tipo de movimiento y el grado de deceleración experimentado por el cuerpo durante ese movimiento es una función de la velocidad del cuerpo y el ángulo en el que es golpea por primera vez el suelo como también el valor del coeficiente de rozamiento del cuerpo y la superficie del suelo relativa al cuerpo o sus ropas.

El cuerpo humano en algunos casos, se detiene más rápido que el vehículo que se haya frenado a partir de su primer contacto. En este caso, el cuerpo podría quedarse enganchado bajo el frontal del vehículo en un impacto secundario y será arrastrado por el vehículo una determinada distancia hasta que el coche alcance su posición final.

Para valorar la velocidad de impacto de un vehículo mediante modelos teóricos, considerando como parámetro principal la distancia de proyección post-impacto recorrida por el peatón atropellado, previamente, se deben comprender los factores y mecanismos que se originan durante la interacción vehículo-peatón en la secuencia del siniestro.

## 3. PATRONES CINEMÁTICOS DEL PEATÓN ATROPELLADO

Existe una relación, que se puede expresar mediante un modelo matemático, en cada uno de los patrones biocinemáticos expuestos entre la velocidad de impacto del vehículo, la velocidad de salida del peatón y la distancia de proyección de este último.

La tipología de atropellos más frecuentemente repetida, e incluso muchas veces la única empleada, es la que utiliza como criterio diferenciador las trayectorias postatropello del cuerpo del peatón. De esta forma, los movimientos del cuerpo del peatón sobre el vehículo y hacia el suelo pueden ser clasificados de acuerdo a cinco patrones distintos (Ravani, et al., 1981; Eubanks & Haight, 1992a):

- Trayectoria de envolvimiento (*wrap trajectory*).

- Volteo sobre la aleta (*fender vault*).
- Volteo sobre el techo (*roof vault*).
- Salto mortal (*somersault*).
- Proyección hacia delante (*forward projection*).

Si volvemos sobre el esquema de equilibrio de la Figura 38, las primeras dos subcategorías de colisiones frontales se corresponde con la proyección hacia delante de la clasificación arriba expuesta (Ravani, et al., 1981), mientras que la tercera categoría, más compleja, comprende las otras cuatro tipologías de aquella clasificación, que aquí se han clasificado bajo la etiqueta común de trayectoria de envolvimiento.

En estas últimas cuatro tipologías, el peatón puede desarrollar inicialmente una trayectoria de envolvimiento sobre el vehículo, pero en función de la velocidad de impacto, de la deceleración del vehículo, del punto de impacto en el vehículo y de la localización relativa del centro de gravedad del peatón respecto al capó, se pueden producir una serie de modificaciones que acaben provocando como resultado una, u otra, de las cuatro posibilidades.

Aunque la clasificación anterior no es exhaustiva, aproximadamente, el 80% de los casos de atropello frontal recogidos en el Estudio PICS, llevada a cabo en San José (California) a finales de los años setenta, pueden ser clasificados dentro de una de las cinco trayectorias básicas. También, se observó que la trayectoria biodinámica postimpacto del peatón estaba influenciada por alguna o algunas de las variables de la colisión, tales como la geometría y la configuración del vehículo, los movimientos previos y la posición del peatón, la velocidad de impacto del vehículo y la ausencia o presencia de maniobra de frenada del vehículo. En la investigación PICS se constató que de un total de 300 casos de atropello frontal considerados, 241 presentaban datos suficientes, y que por lo tanto podrían ser correctamente clasificados dentro de alguna de las cinco trayectorias biodinámicas. En la Figura 35 se muestran los porcentajes de distribución de las diferentes trayectorias en la muestra (Ravani, et al., 1981, p. 795).

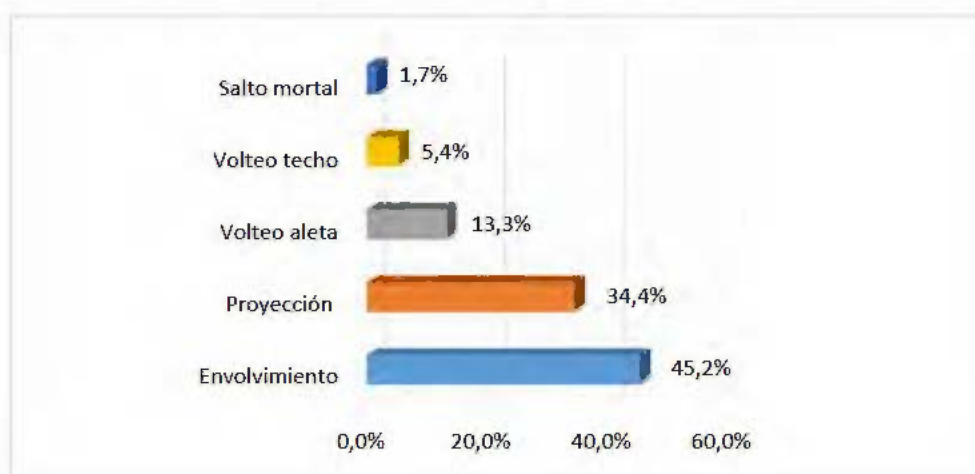


Figura 42: Porcentajes de cada tipo de trayectoria postimpacto seguidas por los peatones en casos reales de atropello.

Según Haight y Eubanks, que siguen en este punto a Ravani, se pueden describir y caracterizar estos cinco tipos de trayectorias de la siguiente forma.



### 3.1 Proyección hacia delante

La proyección hacia delante es la segunda categoría de trayectoria más común y la más común trayectoria en la que están implicados niños. El término es generalmente utilizado para definir una colisión donde el centro de masas del peatón está por debajo de borde anterior del capó del vehículo al impactar.

En una proyección hacia delante, el torso superior del peatón es acelerado rápidamente en la misma dirección de la fuerza de impacto proyectando el cuerpo delante del vehículo. El peatón alcanza la misma velocidad que tiene el vehículo que lo atropella y posteriormente, cuando el vehículo que lo golpea decelera, cae a la carretera y se mueve hasta su posición final.



*Figura 43: Proyección hacia delante*

La proyección hacia delante se puede también observar cuando el cuerpo del peatón es cortado más que envuelto sobre el capó. El centro de masas del peatón está por encima del borde anterior del capó, pero la energía generada por el impacto fue insuficiente para acelerar las piernas para que perdieran el contacto con la calzada.

Esta categoría de atropello usualmente implica que los vehículos no está frenando a fondo durante la secuencia del atropello o cuando la frenada no se produce hasta después del impacto. La intrusión puede ocurrir en este tipo de accidentes incluso a baja velocidad.

Si el vehículo frena después del impacto, generalmente no golpeará de nuevo al peatón, cuya posición final se encontrará delante de la posición final del vehículo. Sin embargo, se producirán nuevas lesiones cuando la víctima golpee el suelo y rebote, deslice o ruede.

La característica principal de este tipo de atropellos es que fundamentalmente sólo existe un único impacto del peatón con el vehículo. Además, se suele observar esta tipología en los siguientes supuestos que han quedado reflejados en la figura superior:

- Cuando el vehículo que atropella al peatón es un vehículo pesado o una furgoneta, en los que el diseño de su frontal es aproximadamente vertical
- Cuando un vehículo, tipo turismo o todoterreno, colisiona contra un niño que presenta, morfológicamente, una talla pequeña.
- Cuando en el instante del atropello, el vehículo se encuentra acelerando. En este caso debido a la transferencia de pesos en este proceso, se produce una elevación de la carrocería sobre el eje delantero con respecto al eje trasero.

Las lesiones producidas por el contacto directo con el vehículo y aquellos que se derivan del contacto con la carretera no están, generalmente, en el mismo lado del cuerpo.

### 3.2 Trayectoria de envolvimiento

Esta es la más común de las categorías y, generalmente, implica un vehículo decelerando. Este tipo de trayectoria se produce cuando el centro de gravedad del peatón se halla a mayor altura que el extremo anterior del capó. El primer impacto lo recibe en las extremidades inferiores, esto le produce un giro sobre su centro de gravedad para impactar con la pelvis sobre el capó. A continuación, el peatón es proyectado por encima del frontal del vehículo, con su torso superior en contacto con el capó hasta que su cabeza impacta con el capó o con el cristal del parabrisas. Finalmente, es lanzado por delante del vehículo desde una altura determinada.



*Figura 44: Trayectoria de envolvimiento*



En el referido trabajo PICS, la velocidad media de impacto para atropellos, que tengan como patrón la trayectoria de envolvimiento, es aproximadamente de 30 km/h. El contacto entre la cara o la cabeza del peatón con el parabrisas como aparece en la siguiente página no es generalmente observado en velocidades por debajo de 40 km/h. Los peatones no son, generalmente, sobrepasados en los casos reales clasificados de acuerdo a esta categoría (Ravani, et al., 1981, p. 794).

### 3.3 Trayectoria de volteo sobre la aleta

La categoría de trayectorias de volteo sobre la aleta se da tanto para vehículo frenados como aquellos que no lo están. El peatón es, generalmente, alcanzado por y volteado sobre la aleta. La velocidad perpendicular del peatón o el diseño del vehículo normalmente influyen sobre el cuerpo del peatón para que salga por el lateral del vehículo. También la localización del primer contacto muy cerca de una de las esquinas del frontal del vehículo influye en la cinemática del atropello.

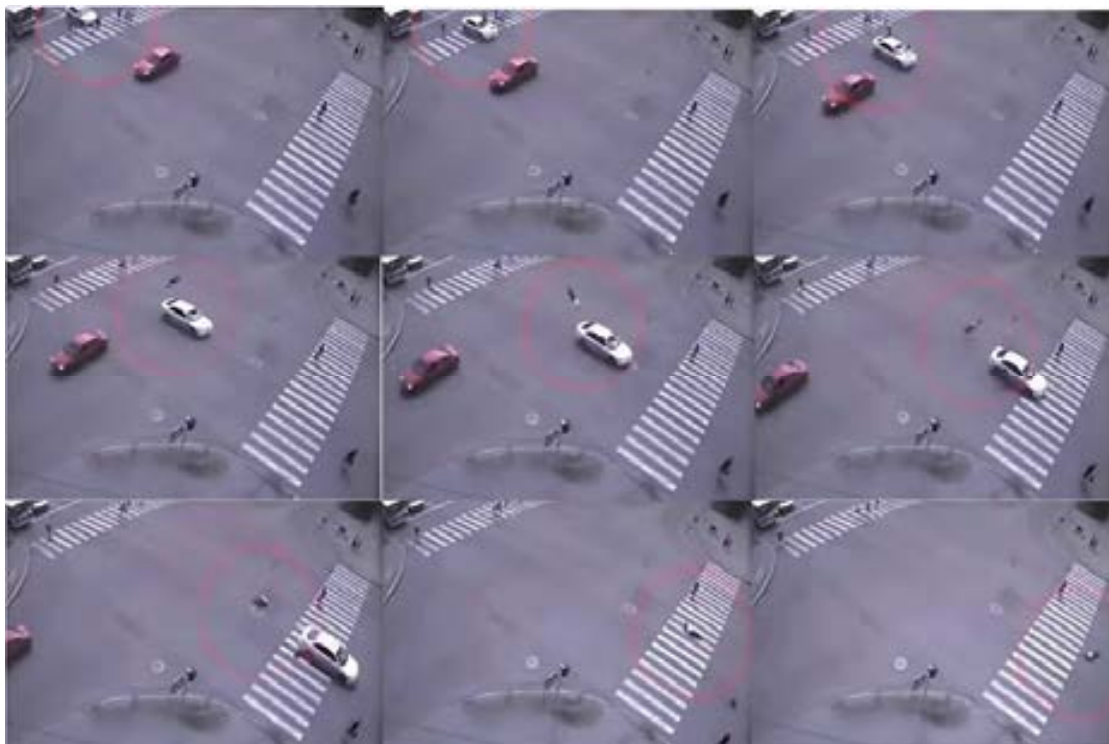


*Figura 45: Volteo sobre la aleta*

En este tipo de trayectorias, generalmente, solo hay un punto de contacto entre el peatón y el vehículo generalmente a la altura de la rodilla y la pelvis, no existiendo por lo tanto contacto secundario del torso y la cabeza contra el capó o el cristal. También puede observarse un giro del peatón sobre su propio eje, antes de caer e impactar con la superficie de la vía.

### 3.4 Trayectoria de volteo sobre el techo

El volteo sobre el techo lo encontramos en aquellas situaciones en las que un peatón con un centro de masas más alto que el borde anterior del capó es lanzado al aire como resultado de la velocidad de impacto y/o el diseño del vehículo que es lo suficientemente alto para que el centro de masas del peatón sobrepasa la línea del techo del vehículo.



*Figura 46: Volteo sobre el techo*

Esta trayectoria es también común en los casos donde el vehículo está acelerando después del impacto o en aquellos supuestos que se producen a una alta velocidad de impacto donde el vehículo no se detiene hasta la fase post-impacto. En los trabajos publicados, los volteos sobre el techo no son comunes a velocidades por debajo de 32 km/h. La velocidad media aproximada para esta categoría en los ensayos llevados a cabo en el estudio PICS estuvo, normalmente, sobre 60 km/h (Ravani, et al., 1981, p. 799).

### 3.5 Salto mortal

La trayectoria de salto mortal es una variante del envolvimiento, aunque en aquella energía suministrada al peatón es suficiente para causarle un giro o varios sobre su propio eje en el vuelo en el aire. En este vuelo, además de un desplazamiento hacia atrás, se produce un giro con pivote sobre su cabeza antes de impactar en la calzada.



*Figura 47: Trayectoria de Salto Mortal*

La cantidad de energía adicional utilizada en el giro proviene, generalmente, de una mayor velocidad de impacto. De hecho, la velocidad media de impacto documentada en el estudio PICS para este tipo de atropellos ronda los 60 km/h (Ravani, et al., 1981, p. 799; Eubanks & Haight, 1992a, p. 44).

No es extraño que el cuerpo del peatón, generalmente la cabeza, vuelva a golpear con el vehículo antes de caer al suelo (Field, 2003, p. 17), tal y como puede apreciarse en la secuencia de la Figura 47.

Si el punto de impacto del peatón sobre el frontal del vehículo se encuentra muy cerca de los laterales se puede favorecer el que exista una trayectoria posterior de este tipo ya que el peatón sufre el impacto secundario con una pequeña parte del cuerpo.

#### **4. MODELOS APLICABLES EN LA RECONSTRUCCIÓN TÉCNICA DEL ATROPELLO**

La reconstrucción técnica del atropello a peatones está seriamente limitada, generalmente, por la falta de información, recogida o documentada, en que basar el análisis necesario para llegar a conclusiones válidas. Cuando la información no se ha recogido, o de cualquier otra forma no está disponible, las técnicas habituales para calcular la velocidad de impacto del vehículo, -huella de frenada, deformaciones,...-, no pueden ser aplicadas porque los datos necesarios simplemente no se encuentran



disponibles. Hay también algunos supuestos donde las técnicas expuestas no pueden simplemente aplicarse al conjunto de hechos que determinan un atropello.

En aquellos casos donde la información está disponible o puede obtenerse, otras técnicas pueden mostrarse efectivas para determinar la velocidad de impacto de un vehículo que ha atropellado a un peatón.

Todo ello nos permitirá establecer el sentido del peatón en el momento de introducirse en la calzada, determinar su posición relativa al vehículo en el punto de atropello y clasificar el atropello en uno de los patrones biocinemáticos. La clasificación pentamenbre anterior se ha convertido en clásica, aunque a efectos de reconstrucción de siniestros viales es poco operativa. Para poder establecer modelos matemáticos simples de los atropellos, es habitual reducir las tipologías de atropellos a solo dos, por un lado, la proyección hacia delante y, por otro lado, la proyección con envolvimiento (Wood, et al., 2005, p. 2; Happer, et al., 2000, p. 2). A partir de aquí, se puede, mediante la aplicación de un modelo teórico adecuado, calcular la velocidad del vehículo en el momento del atropello.

#### 4.1 Modelos teóricos físico-matemáticos

Para la reconstrucción analítica del caso, se suelen utilizar las ecuaciones del movimiento de una partícula, idealizando el comportamiento de un peatón proyectado, que tras describir un tiro parabólico por el aire se desliza sobre una superficie hasta alcanzar su posición final.

En la mayoría de los casos, los métodos particulares expuestos a continuación al ser aplicados a casos reales de atropello muestran un valor de la velocidad de impacto que se encuentra dentro de un aceptable rango de error, si se compara con los múltiples experimentos llevados a cabo con cadáveres humanos, con material biológico, con maniquíes instrumentados y en simulaciones informáticas.

##### 4.1.1 Modelos de envolvimiento

Son aquellos métodos que han sido desarrollados a partir de la aplicación de los principios y leyes de la Mecánica Clásica. Estas fórmulas, o sus diversas variantes, son aplicables a todos los tipos de atropello que se puedan clasificar como envolvimiento o volteo. Se exponen en orden cronológico.

##### – Modelo de Schmidt

En este modelo se relaciona la velocidad de impacto del vehículo con la distancia entre el punto de impacto y la posición final del peatón sobre la calzada (S) a través del coeficiente de rozamiento del peatón ( $\mu_p$ ), incluyendo la altura del centro de gravedad ( $d_0$ ) del peatón (Schmidt & Nagel, 1971)

*Ecuación 1*

$$v_p = \sqrt{(\mu_p^2 \times d_0) + (2 \times \mu \times g \times S) - (\mu_p \times d_0)}$$

Para estimar la velocidad de impacto del vehículo a partir de la velocidad de proyección del peatón debe considerarse la Eficiencia de la Proyección, o sea, la relación entre la velocidad de impacto del vehículo y la del peatón al salir de ese impacto. Además, se debería tener en cuenta el efecto del rozamiento del aire durante el vuelo del peatón.

– Método de Collins

Se calcula de velocidad del vehículo a partir de una ecuación cuadrática (Collins & Morris, 1979):

$$\text{Ecuación 2} \quad v_v = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

Dónde:

$$\begin{aligned} a &= \frac{1}{254} \mu_p \\ b &= \frac{\sqrt{d_0}}{7,97} \\ c &= -S \end{aligned}$$

Además de la distancia de proyección (S), solamente se utiliza la altura del centro de gravedad del peatón ( $d_0$ ) y el coeficiente de rozamiento del peatón ( $\mu_p$ ), que estimaba en 0,8 para todo tipo de superficies.

– Método de Searle

Se considera que un peatón describe el mismo movimiento que una partícula ideal al ser lanzada a una determinada velocidad y con un ángulo determinado de salida. La trayectoria parabólica descrita por un cuerpo que se mueve bajo la acción de la fuerza de gravedad se ha representado en la Figura 39. Hay que hacer notar que en este método se la altura de salida  $h_0$  es diferente al cdg del peatón y se denomina H. Se subraya la dificultad de diferenciar entre las diversas fases del movimiento post-colisión del peatón.

Aplicando la segunda ley de Newton al movimiento vertical de este cuerpo y desarrollando convenientemente las expresiones se llega al resultado final siguiente (Searle, 1993, p. 72):

$$\text{Ecuación 3} \quad v_p = \frac{\sqrt{2\mu_p g(S - \mu_p h_0)}}{(\cos \theta + \mu_p \sin \theta)}$$

Que como puede verse es función de:

- $\mu_p$  = coeficiente de rozamiento del cuerpo con el suelo.
- S = distancia total recorrida por el cuerpo móvil.
- $h_0$  = altura sobre el punto de salida a la cual queda parado el móvil, en este caso el signo negativo viene determinado porque el punto de salida está por encima de posición final.
- $\theta$  = ángulo que forma la velocidad inicial “ $v_p$ ” con respecto a la horizontal.

En colisiones reales, los datos relativos al ángulo de salida no están normalmente disponibles. Se ha afirmado que, a una velocidad de impacto del vehículo comprendida entre 32 km/h y 42 km/h, la trayectoria de envolvimiento del peatón tiene un ángulo típico de lanzamiento de 28 grados (Fugger, et al., 2000).

Analizando las ecuaciones de Searle, con un coeficiente de rozamiento del peatón de 0,7 o menor, puede afirmarse que un Angulo de proyección entre 20° y 50° significa un porcentaje de variación de la velocidad de proyección menor del 4 % y cuando el rango considerado varía entre 10° y 60° ese cambio se sitúa en un porcentaje menor del 10%. (Stevenson, 2006, p. 26).

Puesto que el ángulo que forma la velocidad inicial “V” con respecto a la horizontal, es decir, el ángulo de salida del cuerpo proyectado, resulta ser una de las variables más difíciles de conocer, resulta práctico determinar un valor de velocidad mínima. Esto se hace derivando la Ecuación 3 respecto al ángulo  $\theta$  e igualando a cero. El valor que optimiza el ángulo es  $\arctan(\mu)$ . Y el valor de esta velocidad mínima se obtiene insertando este valor de nuevo en la Ecuación 3, siendo el resultado (Searle, 1993, p. 73):

$$\text{Ecuación 4} \quad v_{p\_mínima} = \frac{\sqrt{2\mu_p g(S - \mu_p h_0)}}{(1 + \mu_p^2)}$$

La velocidad máxima a la que puede salir el peatón para recorrer una determinada distancia es igual a la que tiene un vuelo sin altura, es decir, cuando el peatón ha ido deslizando sobre el suelo desde el inicio del atropello. Este límite tiene como condición un determinado valor del ángulo de proyección, que normalmente está muy alejado de los valores observados, por lo cual habitualmente se utiliza la fórmula a siguiente (Searle & Searle, 1983, p. 279; Searle, 1993, p. 76). :

$$\text{Ecuación 5} \quad v_{p\_maxima} = \sqrt{2\mu_p gS}$$

Por esta razón, el perfil del vehículo afecta significativamente a la trayectoria postimpacto del peatón, y es por esto, por lo que la eficacia de la proyección será analizada en los casos de transporte y proyección.

En una primera aproximación a la estimación de la velocidad de proyección del peatón, se pueden simplificar las formulas anteriores no teniendo en cuenta la altura de salida  $h_0$ , (Searle & Searle, 1983):

$$\text{Ecuación 6} \quad v_{p\_mínima} = \frac{\sqrt{2\mu_p gS}}{(1 + \mu_p^2)}$$

$$\text{Ecuación 7} \quad v_{p\_maxima} = \sqrt{2\mu_p gS}$$

Se considera que como valores del coeficiente de rozamiento del peatón sobre el suelo pueden utilizarse 0,66 ó 0,79, dependiendo de si se trataba de asfalto o de hierba, respectivamente, y entendiendo que no existían grandes diferencias, en ambos casos, tanto si la superficie estaba seca como si estaba mojada (Searle & Searle, 1983, p. 279).

En una trayectoria de envolvimiento hay que introducir una corrección de +10 % para niños y + 20 % para adultos para calcular la velocidad del vehículo a partir de la velocidad mínima, en aplicación de una corrección empírica basada en los experimentos de Appel, aunque teniendo en cuenta todo tipo de trayectorias posibles, la velocidad media de impacto del vehículo es un 6% más alta que la mínima (Searle, 1993, p. 73).

El uso de este método para el cálculo analítico de este tipo de siniestros ha sido validado con datos de atropellos reales en el Reino Unido y los resultados han sido buenos, dentro de unos límites aceptables de error, siempre que el coeficiente de rozamiento aplicable haya sido ponderado adecuadamente (Field, 2003, p. 26).

#### – Modelo de Wood

En 1988, Wood estableció la relación existente entre la distancia de lanzamiento y la velocidad del vehículo en el impacto (Eubanks & Haight, 1992a, p. 44; Stevenson, 2006, p. 17).

$$S = \frac{v_v^2 m_v^2}{2\mu_p g (m_v + m_p)^2} + \mu_p h_0$$

A partir de esta fórmula se puede despejar la velocidad de impacto del vehículo:

$$v_v = \frac{\sqrt{(S - \mu h_0) [2\mu g (m_v + m_p)^2]}}{m_v}$$

Ecuación 8

Además, Wood desarrollo otro modelo de análisis de las interacciones entre el cuerpo del peatón y el vehículo denominado Modelo de Segmento Simple (*Single-Segment Model, SSM*). Se trata de un modelo matemático bidimensional que describe la relación entre la velocidad de impacto y la distancia de proyección del peatón, teniendo en cuenta diferentes variables y parámetros que lo hacen complejo. En este trabajo se consideran dos impactos del peatón sobre el vehículo, el primero que afecta a la pelvis y la parte baja del torso e involucra su capó, y un impacto secundario que suele implicar la cabeza o la parte superior del torso con la parte superior del capó del vehículo o del cristal del parabrisas (Wood, 1988, p. 105).

Wood describe las componentes horizontal y vertical de la velocidad del peatón postimpacto del primer contacto, así como su velocidad angular, para llegar a definir la velocidad postimpacto del vehículo:

$$v_{p\_hor\_postimpacto1} = \frac{m_v k^2 v_{v\_preimpacto}}{k^2 (m_v + m_p) + m_v n^2}$$

$$v_{p\_ver\_postimpacto1} = \frac{nbv_{v\_hor\_postimpacto1}}{k^2}$$

$$\omega_{p\_postimpacto1} = \frac{nv_{v\_hor\_postimpacto1}}{k^2}$$

$$v_{v\_hor\_postimpacto1} = \frac{m_v(k^2+n^2)v_{v\_preimpacto}}{k^2(m_v+m_p)+m_vn^2}$$

Después del segundo impacto de la cabeza o el torso con el vehículo, las velocidades de salida vienen definidas por las siguientes expresiones:

$$v_{p\_hor\_postimpacto2} = \frac{m_v}{(m_v+m_p)} \left[ \frac{(n^2+k^2)\theta}{nt_{impacto1-2}} - \mu_v g t_{impacto1-2} - v_{p\_ver\_postimpacto2} \frac{\cos(\theta - \frac{\pi}{2})}{\sin \theta} \right] + \frac{m_p}{(m_v+m_p)} \left[ \frac{k^2 \theta}{nt_{impacto1-2}} \right]$$

$$v_{p\_ver\_postimpacto2} = l\omega_{p\_postimpacto2} \sin \theta$$

$$\omega_{p\_postimpacto2} = \frac{\frac{k^2 \theta}{t_{impacto1-2}} + \frac{m_v l \cos(\theta + \frac{\pi}{2}) t_{impacto1-2} - \mu_v g t_{impacto1-2}}{m_v+m_p} + l \sin \theta \frac{b \theta}{t_{impacto1-2} - g t_{impacto1-2}}}{k^2 + l^2 \frac{\sin^2 \theta + m_v \cos^2 \theta}{m_v+m_p}}$$

$$v_{v\_postimpacto2} = v_{p\_hor\_postimpacto2} + l\omega_{p\_postimpacto2} \cos(\theta - \frac{\pi}{2})$$

De donde, se concluye que para un atropello con dos impactos sobre el vehículo, la distancia de proyección del peatón puede definirse por la siguiente expresión:

$$S = \frac{v_{p\_hor\_postimpacto2}^2 \left( 1 + \frac{\mu_p v_{p\_ver\_postimpacto2}}{v_{p\_hor\_postimpacto2}} \right)}{2\mu_p g} + \frac{k^2 \theta}{n} + \mu_p (h_f + \Delta h_{impacto1-2})$$

En donde, las variables tienen el siguiente significado:

- $v_v$  = velocidad inicial del vehículo
- $v_p$  = velocidad inicial del vehículo, tiene un componente horizontal  $v_{ph}$  y otro vertical  $v_{pv}$
- $g$  = aceleración de la gravedad
- $\mu_p$  = coeficiente de rozamiento peatón–suelo
- $d_0$  = altura del centro de gravedad del peatón, que se expresa generalmente como una proporción distribuida normalmente de la longitud del cuerpo: media  $h_0/L = 0,57$ , con una desviación estándar de  $h_0/L = 0,0152$ .
- $h_f$  = Altura (m) del cdg del peatón en su posición final.
- $\Delta h_{impacto1-2}$  = diferencia de altura (m) del cdg del peatón entre el primer y el Segundo impacto.
- $S$  = distancia total (m) recorrida por el cuerpo desde el punto de impacto hasta su posición final
- $m_p$  = masa del peatón (kg).
- $m_v$  = masa del vehículo (kg).
- $k$  = radio de giro sobre el eje horizontal, que normalmente se sitúa alrededor de 0,4. A veces se expresa como una proporción normalmente distribuida de

la longitud del cuerpo: media  $k/L = 0,23$ , con una desviación estándar de  $k/L = 0,0175$ .

- $n$  = la diferencia de altura (m) entre el cdg del peatón y el borde del capó, teniendo en cuenta que si el primero está debajo del segundo se toma como valor cero.
- $b$  = la distancia horizontal (m) entre el cdg del peatón y el borde anterior del capó.
- $l$  = distancia vertical (m) entre el cdg del peatón y la parte superior de su cabeza.
- $t$  = tiempo (s) entre el primer impacto y el segundo impacto del peatón

Cuando solamente hay un contacto del cuerpo del peatón con el vehículo, como puede ser en el caso de un volteo sobre la aleta o sobre el techo, se puede utilizar una fórmula más simple (Stevenson, 2006, p. 19).

$$S = \frac{v_{ph}^2}{2\mu_p g} \left( 1 + \frac{\mu_p v_{pv}}{v_{ph}} \right)^2 + \mu_p h$$

Para poder utilizarla, se requiere estimar el radio de giro. Además, en el caso de una proyección horizontal, la formula se simplifica ya que  $h = 0$ .

A partir de un análisis basado en los momentos de inercia, la velocidad del peatón después del primer impacto con el vehículo está relacionada con la velocidad de este a través de la siguiente formula (Wood, 1991, p. 134).

$$v_p = \left[ \frac{m_v k^2}{k^2(m_v + m_p) + h^2 m_v} \right] v_v$$

Si se toma como valores medios  $k = 0,4$  m, la masa del vehículo  $m_v = 1600$  kg, la masa del peatón  $m_p = 75$  kg, entonces para una diferencia de alturas entre el borde del capó y el cdg del peatón de  $h = 0,1$  m la velocidad del peatón será el noventa por ciento de la del vehículo, mientras que se  $h = 0,4$  ese valor se reduce al sesenta por ciento.

Wood, también, desarrolló una fórmula para determinar el coeficiente de rozamiento utilizando los experimentos de Severy, Kuhnel, Sturtz y Suren. En los citados documentos, hay un total de 27 crash test con maniqués adultos y camiones y maniqués de niños con coches. Las velocidades de estos test estaban entre los 4,47 m/s y los 17,89 m/s. La fórmula de Wood para la determinación del coeficiente de rozamiento es la siguiente (Eubanks & Haight, 1992a, p. 44):

$$\mu_p = 0,772 - 0,0019 v_v$$

Existe una fuerte evidencia que muestra que el momento horizontal durante la proyección del peatón es significativamente reducido por el impacto inicial con el suelo. La falta de consideración de este fenómeno permite que se ofrezcan valores del coeficiente de rozamiento demasiado altos. Utilizando la ecuación de Seale a un conjunto de datos experimentales sugiere que el coeficiente de rozamiento es independiente de la velocidad de impacto y además que el rango de su valor puede situarse entre 0,39 y 0,87 (Wood & Simms, 2000, p. 14).

Hay que hacer una observación general sobre el significado físico de  $\mu_p$ , que si bien se viene denominando como coeficiente de rozamiento del peatón con el suelo, en el sentido formal de un coeficiente de rozamiento de Coulomb, se trata de un coeficiente de retardo que se aplica no solo a la fase de deslizamiento sobre el suelo sino a toda la distancia de proyección, ya que la interacción en la fase de impacto en el suelo, con los consiguientes rebotes, vueltas y deslizamientos no ha sido, todavía, suficientemente comprendido y explicado (Wood, et al., 2005, p. 5). Además, se determina estadísticamente que a partir de los datos experimentales disponibles ese coeficiente de retardo se encuentra distribuido aproximadamente de forma normal con una media de 0,561 y una desviación estándar de 0,101 (Wood, et al., 2005, p. 13). A pesar de coincidir en la disquisición con Wood, en este trabajo se continuará utilizando la denominación tradicional de coeficiente de rozamiento.

#### – Modelo de Aronberg

En este modelo, las expresiones conocidas para realizar los cálculos del tiempo de vuelo y del ángulo de proyección del peatón, son (Aronberg, 1990, p. 137):

$$t = (\sqrt{h-h_0} + \sqrt{h}) \times \sqrt{\frac{2 \times h}{g}}$$

$$\theta = \arctan g \left( \frac{\sqrt{2 \times g \times (h-h_0)}}{-g \times \mu_p \times t + \sqrt{\left(\frac{g \times \mu_p \times t}{2}\right)^2 + 2 \times g \times \mu_p \times S}} \right)$$

Y la expresión para determinar la velocidad de proyección del peatón, puede realizarse indistintamente por cualquiera de estas dos expresiones:

Ecuación 9

$$v_p = \frac{\sqrt{2g(h-h_0)}}{\sin \theta}$$

Ecuación 10

$$v_p = \frac{-g\mu_p t + \sqrt{\left(\frac{g\mu_p t}{2}\right)^2 + 2g\mu_p S}}{\cos \theta}$$

Siendo:

- $\theta$  = Ángulo de lanzamiento entre la velocidad inicial del cuerpo “ $v_p$ ” y la horizontal
- $h_0$  = altura del centro de gravedad del cuerpo en el instante del impacto
- $h$  = máxima altura del centro de gravedad del cuerpo durante la trayectoria post-impacto recorrida
- $t$  = tiempo de la fase de vuelo del peatón

Este modelo presenta el inconveniente de determinar el valor de la altura máxima alcanzada por el peatón durante la fase de vuelo o bien el ángulo de proyección, valores éstos difícilmente conocidos a través de la toma de datos realizada en un siniestro vial real.

– Método de Eubanks

Utilizando la solución de una ecuación cuadrática se puede calcular la velocidad de impacto del vehículo (Eubanks & Hill, 1992b):

$$\text{Ecuación 11} \quad v_p = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

Los valores de a, b y c aplicados a la ecuación cuadrática general previamente descrita tienen en cuenta un movimiento del peatón en tres fases y proporcionan una velocidad de impacto para un vehículo que ha atropellado a una persona.

$$\begin{aligned} a &= \frac{1}{2\mu_p g} \\ b &= \frac{d_{hood}}{v_{p\_preimpacto} \sin \theta} + \sqrt{\frac{2h_0}{g}} \\ c &= -S \end{aligned}$$

En este caso el significado de las variables utilizadas eran los siguientes:

- $\theta$  = ángulo entre la velocidad preimpacto del vehículo y la trayectoria de proyección del peatón.
- $d_{hood}$  = la distancia del punto inicial de contacto en el vehículo al lateral del vehículo por el que sale el peatón.
- $v_{p\_preimpacto}$  = velocidad preimpacto del peatón.
- $h_0$  = el punto más alto de contacto con el vehículo, punto de salida del peatón.

Respecto a la eficiencia de la proyección que supone la relación entre la velocidad de impacto del vehículo y la velocidad de salida del peatón en un atropello con trayectoria de envolvimiento se puede definir como la relación entre la altura del cdg del peatón ( $d_0$ ) y el borde superior del capó ( $h_0$ ) del vehículo.

$$\text{Eficiencia de la proyección (EP)} = \frac{h_0}{d_0} \times 100\% \quad \text{Ecuación 12}$$

Este modelo es adecuado para las trayectorias típicas de envolvimiento, considerando que la relación entre la velocidad de salida del impacto del peatón está relacionada directamente con la velocidad del vehículo a través de la siguiente formula:

$$v_v = \frac{1}{EP} v_p(t_p)$$



Donde EP es definido como factor de impacto (Wood, 1991, p. 140; Aronberg & Snider, 1994, p. 446; Toor & Araszewski, 2003) o como, ya se ha dicho, eficiencia de proyección (Eubanks & Hill, 1992b). En todo caso este parámetro tiene una naturaleza empírica.

Aplicando la relación del momento se definió la relación entre las velocidades de entrada del vehículo y de salida del peatón (Happer, et al., 2000, p. 7).

$$\text{Eficiencia de la proyección (EP)} = \frac{m_v}{m_v + m_p} \times 100\% \quad \text{Ecuación 13}$$

Esta relación muestra que la velocidad de proyección está relacionada con la velocidad de atropello del vehículo a través de sus respectivas masas. La EP se aproxima al 100 % solo cuando la masa del vehículo es significativamente mayor que la masa del peatón. Se estima que la EP puede variar entre el 80 % y el 100 % en la trayectoria de proyección horizontal y entre el 50 % y el 90 % en la trayectoria de envolvimiento (Happer, et al., 2000, p. 8).

En este análisis, a través de la ecuación cuadrática, se asume una eficiencia de la proyección absoluta y además los valores del coeficiente de rozamiento para el peatón ( $\mu_p$ ) son determinados por la experiencia de los usuarios y no han sido predeterminados por el autor.

#### – Modelo de Han-Brach

Este modelo tiene en cuenta la pendiente de la vía, así como los dos impactos sucesivos del cuerpo del peatón contra el vehículo, tal y como se ha descrito en el modelo de Wood.

Si la inclinación de la vía tiene un ángulo próximo a cero, se puede desarrollar una ecuación que puede ponerse en la forma más útil para calcular la velocidad de proyección del peatón (Han & Brach, 2001, p. 4):

$$v_p = A_p \sqrt{S - B}$$

donde,

$$A_p = \sqrt{\frac{2\mu_p g}{\mu_p^2 \sin^2 \theta + \mu_p \sin 2\theta + \cos^2 \theta}}$$

$$B = x_L + \mu_p h_0$$

Merece la pena pararse a explicar el significado del parámetro  $x_L$ , que en este modelo representa la distancia que el cdg del peatón se desplaza en el tiempo entre el impacto inicial y el secundario en el vehículo. En una proyección hacia adelante el valor es 0 m. Las trayectorias de volteo sobre el techo y de salto mortal no son tenidas en cuenta en este modelo porque no existen datos experimentales disponibles, pero se considera que  $x_L$  debe ser mayor que en los supuestos de envolvimiento. El ángulo de

proyección se puede situar cerca o por encima de los 90° y la Eficacia de la Proyección puede ser perfectamente menor que uno. En el caso de una trayectoria de envolvimiento la función tiene valores de valores constantes hasta  $x_1 = 0.5$  m y a partir de  $x_2 = 1.5$  m para unas velocidades  $v_1 = 5$  m/s y  $v_2 = 20$  m/s, respectivamente, mientras que entre ambos puntos la función es la recta que los une, tal y como puede verse en la Figura 48.

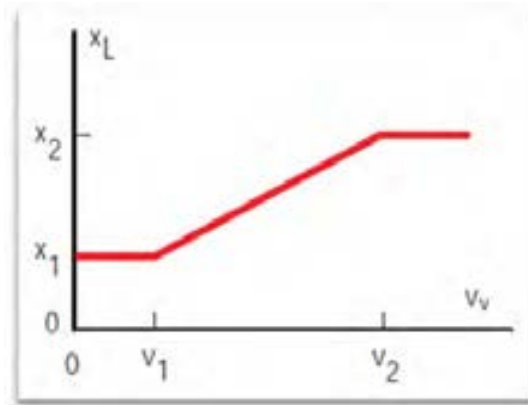


Figura 48: Relación entre el desplazamiento  $x_L$  y la velocidad inicial del vehículo

Hay que hacer constar que los parámetros A y B no son parámetros o coeficientes de un modelo estadístico, sino que tienen un desarrollo analítico y un significado físico. A partir de aquella velocidad, puede calcularse la velocidad del vehículo en el momento del atropello con esta fórmula:

$$v_v = A\sqrt{S - B}$$

donde,

$$A = A_p \frac{m_c + m_p}{\alpha m_c}$$

El modelo puede parecer relativamente complicado de aplicar, pero si se tienen en cuenta una serie de valores estándar o adquiridos en la investigación no es difícil en su aplicación. Esos valores estándar son los siguientes (Han & Brach, 2001, p. 8):

- EP Eficacia de Proyección = 1,0.
- $\theta$  ángulo de proyección = 0° (proyección hacia delante).
- $\alpha$  ángulo de la pendiente = 0°.
- $\mu_p$  rozamiento peatón superficie = 0,7-0,8.
- $a_v$  deceleración del vehículo = 0,5.
- $h_0 = 1$  m (adultos) y 0,4 m (niños, proyección hacia delante)
- $m_v$  masa del vehículo = 1125 kg
- $m_p$  masa del peatón = 65 kg (adultos) y 30 kg (niños)
- $x_L$  desplazamiento desde el primer al segundo impacto en el vehículo = 0 m (proyección hacia delante), el valor de la Figura 48, donde  $x_1 = 0,5$  m,  $x_2 = 1,5$  m,  $v_1 = 5$  m/s y  $v_2 = 20$  m/s.

Un análisis, que incluya la corrección del efecto del impacto del peatón sobre el suelo, ofrece un valor medio del coeficiente de rozamiento del peatón sobre una superficie asfáltica de 0,74 e implica valores situados entre 0,7 y 0,8. Como ya se ha aclarado tiene

que ver con la consideración completa de este parámetros más como un coeficiente de retardo que como uno propiamente de rozamiento. Esta sería la razón de que otros autores afirmen que los valores del coeficiente de rozamiento del peatón tiene un valor entre 0,45 y 0,65 (Fricke & Baker, 1990, pp. 77-10) o de 0,5 (Bratten, 1989, p. 189).

- Modelo de Batista generalizado con la pendiente de la vía

Searle afirmó que no era difícil tener en cuenta el ángulo de la pendiente de la vía ( $\alpha$ ) en su desarrollo (1993, p. 72), simplemente se tenía que reemplazar la aceleración de la gravedad ( $g$ ) por la expresión  $[g(\cos\alpha + \mu\sin\alpha)]$ . La altura  $h_0$  debe ser medida de forma normal a la superficie inclinada de la vía.

Como se ha visto también el modelo anterior tenía en cuenta la pendiente de la vía, aunque luego no desarrollaba completamente el modelo para tenerla en cuenta (Han & Brach, 2001, p. 4).

Como en el modelo de Searle, para idealizar el movimiento del peatón en un atropello realizó las siguientes simplificaciones (Batista, 2008):

- El impacto vehículo-peatón es simétrico y todos los eventos suceden en un solo plano.
- La velocidad inicial del peatón es cero.
- Después del lanzamiento el peatón es considerado como una partícula de masa.
- La superficie del suelo es plana.
- El rozamiento entre el peatón y el suelo es constante.
- No se tiene en cuenta la resistencia del aire.

Se parte del cálculo del tiempo total, teniendo en cuenta que el tiempo inicial ( $t_0$ ) oscila sobre 0,2 s:

$$t_p = t_0 + \frac{v_p(\cos\theta + \mu\sin\theta)}{g(\cos\alpha + \mu\sin\alpha)}$$

E igualmente la Distancia total puede definirse con la expresión siguiente, teniendo en cuenta que la distancia de contacto son aproximadamente 2 m:

$$S = s_0 + \mu h_0 + \frac{v_p(\cos\theta + \mu\sin\theta)}{g(\cos\alpha + \mu\sin\alpha)}$$

De donde se llega a la definición de la velocidad de proyección del peatón en base a la siguiente ecuación, teniendo en cuenta que la pendiente  $p = \tan(\alpha)$  medida en tanto por uno:

$$v_p = \frac{\sqrt{2g(p + \mu_p)(1 + \tan^2\theta)(S - s_0 - \mu_p h_0)}}{(1 + \mu_p \tan\theta)^4 \sqrt{1 + p^2}}$$

Ecuación 14

A partir de esa velocidad de proyección del peatón se puede calcular la velocidad del vehículo en relación con sus masas y teniendo en cuenta la EP:

$$v_v = \left( \frac{1 + m_p}{m_c} \right) \frac{v_p}{EP}$$

Batista, también, formuló una versión generalizada de las ecuaciones de Searle:

$$\text{Ecuación 15} \quad v_{p\_m\acute{a}xima} < \frac{1}{\mu_p} \sqrt{2g \frac{(\mu_p + p)}{\sqrt{1+p^2}} (S - s_0 - \mu_p h_0)} \quad (\mu_p \leq 1 \cup \theta > \theta_*)$$

También desarrolla la expresión en el caso de  $\mu$  mayor que uno, pero no se incluye porque se considera un caso raro en la realidad.

$$\text{Ecuación 16} \quad v_{p\_m\acute{i}nima} = \frac{\sqrt{2g(p + \mu_p)(S - s_0 - \mu_p h_0)}}{(1 + \mu_p^2)\sqrt{1+p^2}}$$

El valor inicial de la distancia de contacto ( $s_0$ ) a utilizar sería los expuestos en el desarrollo de las dos primeras expresiones de este modelo.

#### 4.1.2 Modelos de proyección horizontal

Debe observarse que en este tipo de proyección están implicados, generalmente, vehículos de grandes dimensiones, que tienen un coeficiente de rozamiento menor que el de un automóvil ligero (Field, 2003, p. 27). En estos casos, conviene realizar pruebas de frenado para obtener este parámetro con el vehículo implicado en los hechos o con uno de características semejantes.

##### – Modelo de Collins

Por otro lado, se puede aplicar una composición de movimientos, por un lado la caída libre con velocidad inicial horizontal y por otro lado el deslizamiento sobre el suelo (Collins & Morris, 1979; Fricke & Baker, 1990, pp. 77-11).

Para aplicar este método, en primer lugar se calcula la distancia de caída ( $d_f$ ):

$$d_f = (2\mu_p h_0) - 2h_0 \sqrt{\mu_p^2 - \left( \mu_p S / h_0 \right)}$$

Teniendo en cuenta que la distancia total de proyección ( $S$ ) es igual a la suma de la distancia de caída ( $d_f$ ) y la distancia de deslizamiento ( $d_s$ ). Hay que hacer notar que en esta fórmula por la notación de signos la altura del centro de gravedad ( $h_0$ ) debe tener signo negativo. Posteriormente se puede calcular la velocidad inicial de salida del peatón utilizando, indistintamente, la velocidad de caída como la velocidad de deslizamiento.

$$\text{Ecuación 17} \quad v_{p\_caida} = d_f \sqrt{\frac{-g}{2h_0}}$$

$$\text{Ecuación 18} \quad v_{p\_deslizamiento} = \sqrt{2\mu_p g d_s}$$

En cuanto al coeficiente de rozamiento aplicable, Fricke expone la siguiente tabla desarrollada a partir de sus propias experiencias (1990, pp. 77-10):

*Tabla 18: coeficiente de rozamiento del peatón con el suelo*

Coeficiente de Rozamiento	
SUPERFICIE	RANGO COEFICIENTE
Asfalto	0,45-0,60
Hormigón	0,45-0,65
Césped-hierba	0,45-0,70

Hay que hacer notar que en este caso, por el método experimental utilizado de hacer deslizar un cuerpo humano sobre la superficie, se trata del valor del coeficiente de rozamiento, por este motivo es menor que el hallado por otros autores cuando lo utilizan como coeficiente de retardo.

#### – Modelo de Eubanks

Este modelo se aplica al caso de un peatón que es proyectado horizontalmente con un ángulo de salida de cero grados. La fórmula obtenida se puede aplicar los atropellos en que estaba implicado un vehículo pesado de frontal recto y atropellos en que estaban implicados niños y vehículos grandes (Eubanks & Haight, 1992a, p. 46).

*Ecuación 19*

$$v_p = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

Los tres coeficientes para resolver la ecuación cuadrática se definen así:

$$a = \frac{1}{2\mu_p g}$$

$$b = \sqrt{\frac{2h_0}{g}}$$

$$c = -S$$

O en una sola expresión, quedaría:

*Ecuación 20*

$$v_p = (-\mu_p)(\sqrt{2gh_0} - \sqrt{2gh_0 + \frac{2gS}{\mu_p}})$$

El resultado de  $v_p$  calculado a través de este método debe coincidir con los resultados del modelo de Collins, ya que solo varían en la forma de exposición de las ecuaciones.

El valor del coeficiente de rozamiento por deslizamiento para el peatón se determinaba por las experiencias de los usuarios y no fue abordado por los autores.

Además, se tienen que tener en cuenta la Eficiencia de la Proyección y el rozamiento del aire, en su caso, para obtener la velocidad de impacto del vehículo.

#### – Modelo de Hague

Si se vuelve a utilizar la fórmula de la velocidad máxima de proyección del peatón, pero ajustándola al coeficiente de rozamiento del vehículo (Field, 2003):

$$v_{m\acute{a}xima} = \sqrt{2 \times 0,88 \times \mu_v \times 9,81 \times S}$$

Se ha introducido la sugerencia de Hill para considerar que, por término medio, el valor del coeficiente de rozamiento del peatón es un 88 % del que tendría el vehículo que lo atropelló. Además considera que la Eficiencia de la Proyección tiene un valor de 80 %. Al comparar la velocidad calculada con los experimentos llevados a cabo se puede observar que sobreestima la velocidad tanto del peatón como del vehículo, aunque puede servir como límite superior.

En la conferencia ITAI (*Institute of Traffic Accident Investigators*) de 2001, se presentó la siguiente fórmula para calcular la velocidad máxima de deslizamiento de un peatón que ha caído desde la altura ( $h_0$ ) de su centro de gravedad (Hague, 2001, p. 102).

Ecuación 21 
$$v_{p\_m\acute{a}xima} = \sqrt{2\mu_p g S} + \mu_p \sqrt{2gh_0}$$

El primer término a la derecha es la ecuación normal para determinar la pérdida de velocidad de un cuerpo que desliza por el suelo, mientras que el segundo término a la izquierda refleja la pérdida de velocidad debida a la caída desde la altura máxima alcanzada ( $h_0$ ) y es simplemente el producto del coeficiente de rozamiento por la velocidad vertical de impacto del objeto.

Además, Hague ofrece un conjunto de coeficientes de rozamiento obtenidos por experimentación con ropa de algodón y de nilón en diferentes superficies (Hague, 2001, p. 104).

Tabla 19: Coeficientes de rozamiento de un peatón en función del material de su vestimenta y de la superficie

Coeficiente de Rozamiento peatón-suelo		
SUPERFICIE	ALGODON	NILÓN
Asfalto basto abierto	0,59	0,54
Asfalto basto	0,71	0,66
Asfalto fino suave	0,63	0,51
Asfalto fino afilado	0,71	0,69
Hormigón (polvo)	0,60	0,48
Hormigón (limpio)	0,63	0,51
Carril bus	0,66	0,55
Superficie antideslizamiento	0,85	0,65



Los resultados fueron obtenidos realizando múltiples experimentos con un maniquí de 68 kilogramos de masa.

## 4.2 Modelos estadísticos aplicables

Estos modelos basan sus investigaciones en relacionar la distancia de lanzamiento del peatón atropellado (atropellos reales, cadáveres, maniquíes) con la velocidad de impacto del vehículo donde a través de técnicas y modelos estadísticos, como por ejemplo la Regresión Lineal, determinar expresiones que puedan estimar dicha variable. Algunos autores se refieren a estos modelos también como empíricos, mixtos o híbridos, pero en este trabajo cualquier ecuación, fórmula o relación que se haya obtenido utilizando técnicas estadísticas a partir de cualquier tipo de experimentos son denominados estadísticos.

Estos modelos suelen utilizar, como método alternativo de estimar la velocidad de impacto de un vehículo, el resultado de los experimentos reales donde los peatones son golpeados por vehículos que se desplazan a velocidades conocidas. Si se mide la distancia recorrida por el peatón, desde el impacto hasta la posición final, se puede comparar con los resultados de los experimentos para establecer un rango de velocidades probables para un vehículo.

La mayor ventaja de estos modelos es su facilidad de aplicación a los atropellos que se producen en el mundo real, mientras que como desventaja puede apuntarse su sensibilidad en la elección de los valores adecuados de los diversos coeficientes y parámetros para que se acerquen a las condiciones en las cuales se realizaron los experimentos.

Para comprobar experimentalmente estas fórmulas se han realizado, en diversos proyectos, series de ensayos utilizando cadáveres (*Post-mortem Human Subject, PMHS*) o maniquíes (*dummies*) que eran atropellados por diferentes tipos de vehículos a velocidades determinadas. Cada uno de estos proyectos utiliza diferentes métodos y técnicas estadísticas para establecer una expresión que permita de forma empírica relacionar la velocidad de salida del peatón con la distancia de proyección.

### 4.2.1 Modelos de envolvimiento

#### – Modelo de Stcherbatcheff

Se trata de otra ecuación cuadrática que en este caso usa el porcentaje de deceleración del vehículo y por lo tanto calcula directamente su velocidad en el momento del impacto. La distancia total de proyección es igual a (Stcherbatcheff, et al., 1975, p. 760):

$$\text{Ecuación 22} \quad S = \frac{v_v^2}{2 \times a_v} + (0,03 \times a_v \times v_v)$$

Si se utiliza una deceleración media de 0,7g la fórmula anterior quedaría como:

$$S = \frac{v_v^2}{1,4g} + (0,02 \times g \times v_v)$$

Y por lo tanto despejando se tendría, directamente, la velocidad del vehículo:

$$v_v = 6,81 \times \sqrt{0,0424 + 0,291S} - 1,41$$

En esta ecuación se ha introducido un coeficiente empírico, por lo que cabría calificar este modelo como mixto entre una fórmula matemática y coeficientes empíricos correctores, aunque la mayoría de los autores se refieren a ellos como híbridos (Wood & Simms, 2000, p. 393; Depriester, et al., 2005, p. 7; Batista, 2008, p. 357). Se incluye esta fórmula porque es posible calcular la deceleración del vehículo conocido el punto de atropello o el inicio de la frenada y la posición final del vehículo. También es posible realizar pruebas de frenado en las investigaciones complementarias con el vehículo implicado para establecer su deceleración en circunstancias semejantes a las que condujeron al siniestro.

#### – Modelo de Appel

Este método estadístico está basado en una serie de test realizados y en el análisis de 137 accidentes reales por un equipo dirigido por el Profesor Appel en los primeros años setenta. Estos autores deducen la velocidad de proyección como un tiro parabólico, es decir, la distancia de proyección del peatón se encuentra relacionada con el cuadrado de la velocidad del impacto. Se utilizaron datos a partir de estudios de campo que incluían formas de frontal del vehículo en V y atropellos a adultos que pueden ser tenidos en cuenta en una trayectoria de envolvimiento (Appel, et al., 1975, pp. 83-100).

Tabla 20: Ecuaciones de Appel

Supuesto de aplicación	Muestra	Ecuación	Correlación
Vehículo con frontal bajo	n = 11	$S = 0,065 \times V^2$	R2 = 0,69
Adultos	n = 31	$S = 0,070 \times V^2$	R2 = 0,68

O bien despejando las correspondientes velocidades:

Ecuación 23 
$$v_{p\_forma\ de\ V} = \sqrt{\frac{S}{0,065}}$$

Ecuación 24 
$$v_{p\_adulto} = \sqrt{\frac{S}{0,070}}$$

Los gráficos resultantes establecen una velocidad superior y una inferior. Se pueden, también, determinar las ecuaciones de las líneas contenidas en los gráficos. Las velocidades mostradas en los gráficos se refieren a la velocidad del vehículo más que a la del peatón.



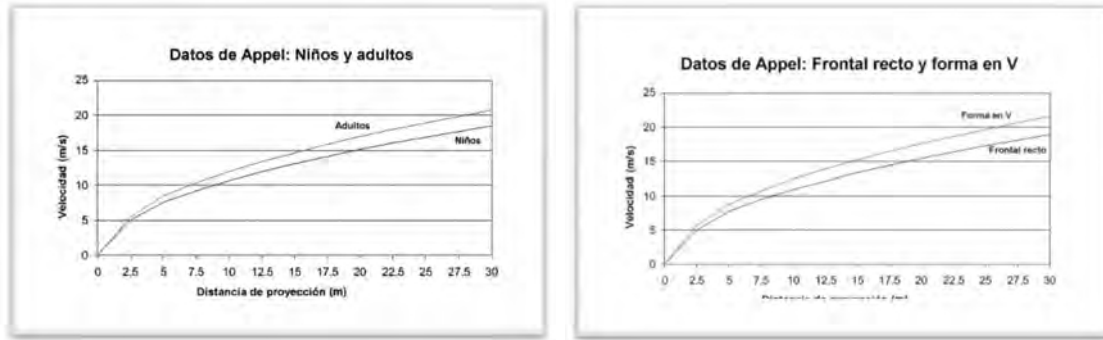


Figura 49: Gráficas de las diferentes funciones obtenidas por Appel

Es interesante comparar los resultados de la aproximación matemática de Searle con los datos empíricos obtenidos por Appel.

Escritas en el mismo formato que las cuatro ecuaciones de arriba, y utilizando un valor de  $\mu_p$  de 0,66 las ecuaciones de Searle se convierten en:

$$v_{p\_mínima} = \sqrt{\frac{S}{0,111}} \qquad v_{p\_máxima} = \sqrt{\frac{S}{0,077}}$$

El valor de  $v_{máxima}$  es similar al encontrado para adultos mientras que  $v_{mínima}$  es menor que cualquiera de los datos empíricos.

– Modelo de Sturtz

Utilizando los datos de Appel, pero reagrupándolos y analizándolos de nuevo, se definió una nueva relación estadística que ahora se convertía en cúbica (Sturtz, et al., 1976, p. 483).

$$\text{Adultos} \qquad S = 1 + 0,654v_v + 0,00145v_v^3$$

$$\text{Niños} \qquad S = 0,6 + 0,0665v_v^3$$

Teniendo en cuenta que niños serían todos aquellos que tuvieran una edad menor a quince años.

– Método de Searle

Se trata de una corrección experimental de la Ecuación 3 que se expuso como resultado del modelo físico desarrollado a partir de la consideración del movimiento de una partícula. Con los datos procedentes de los experimentos de atropellos a maniqués se procede a una redefinición del planteamiento. Si los efectos del rozamiento del impacto vertical son el 63 % de los calculados teóricamente, entonces la distancia alcanzada para  $H = 0$  se convierte en:

$$S = \frac{(v_{ph}^2 + 2,8\mu_p v_{ph} + 0,4\mu_p^2 v_p^2)}{2\mu g}$$

En este caso particular, un ángulo de  $\frac{1}{2} \arctg\left(\frac{14\mu_p}{5-2\mu_p^2}\right)$  minimizará la velocidad de proyección del peatón con este valor (Searle, 1993, p. 74):

$$\text{Ecuación 25} \quad v_{p,\text{minima}}^2 = \frac{2\mu_p g S}{0,5 + 0,2 \mu_p^2 + \sqrt{0,25 + 1,67 \mu_p^2 + 0,04 \mu_p^4}}$$

Esta fórmula puede expresarse también en porcentajes de corrección sobre el resultado teórico, que a veces es utilizada por los investigadores y reconstructores de siniestros viales.

– Método de Limpert

Se puede estimar la velocidad de impacto de un vehículo en un atropello si se obtiene el valor de la deceleración real o experimental ( $a_v$ ) del vehículo implicado y la distancia de proyección total (S) del peatón (Limpert, 1994, p. 545):

$$\text{Ecuación 26} \quad v_v = 10,62 \sqrt{8,4a_v^4 + \frac{a_v \times S}{0,3048}} - (32,19a_v^2) \pm 4,02$$

Se hace notar que las unidades de medida del resultado de la ecuación anterior son kilómetros por hora, midiéndose el parámetro S en metros y la deceleración del vehículo  $a_v$  en unidades de aceleración de la gravedad (g).

– Modelo de Rau

A través del análisis de la base de datos de investigaciones en profundidad sobre atropellos llevado a cabo en Alemania por la Universidad de Hannover se consiguió establecer la siguiente relación (Rau, et al., 2000, p. 145; Depriester, et al., 2005, p. 7):

$$S = 0,0052v_v^2 + 0,0783v_v$$

De donde la velocidad de impacto del vehículo sería:

$$\text{Ecuación 27} \quad v_v = \frac{-0,0783 \pm \sqrt{0,0061 + 0,0208S}}{0,0104}$$

Con la distancia en metros y la  $v_v$  en kilómetros por hora. Se ha estimado que el error podía ser  $\pm 5$  km/h.

– Modelo de Fugger

Es un modelo estadístico que considera una ley de potencia como la relación entre la distancia de proyección y la velocidad de impacto del vehículo, aplicable en trayectorias de envolvimiento (Fugger, et al., 2000).

$$\text{Ecuación 28} \quad v_v = 8,3604S^{0,6046}$$

Donde  $S$  es la distancia de proyección medida en metros y  $v_v$  es la velocidad de impacto del vehículo en kilómetros por hora.

– Modelo de Toor

En un primer trabajo alcanzaron una fórmula basada en un análisis estadístico de una amplia muestra de casos de atropello y el resultado fue el siguiente (Happer, et al., 2000, p. 9; Toor, et al., 2002, p. 5) :

*Ecuación 29* 
$$v_v = 12,7\sqrt{S} - 2,6$$

Con un error de  $\pm 9$  km/h para el percentil 85 de la muestra.

Dos años más tarde, se analizaron los datos otra muestra más amplia con el objetivo de revisar y validar modelos estadísticos anteriores, pero el resultado fue una corrección de la fórmula anterior (Toor, et al., 2002, p. 8).

*Ecuación 30* 
$$v_v = 13,3\sqrt{S} - 4,6$$

Con un error estimado de  $\pm 9$  km/h en el intervalo de los percentiles 15 a 85 y de  $\pm 12$  km/h en el intervalo de los percentiles 5 a 95.

Finalmente, realizaron otro intento con un modelo de potencia que dio el siguiente resultado (Toor & Araszewski, 2003, p. 121):

*Ecuación 31* 
$$v_v = 9,84 S^{0,57}$$

Con un error estimado de  $\pm 5,8$  km/h en el intervalo de los percentiles 15 a 85 y de  $\pm 9,2$  km/h en el intervalo de los percentiles 5 a 95.

– Modelo de Wood-Simms

En 2004, se publicó una primera versión de este modelo estadístico (Wood, et al., 2004, p. 221) en el que consideraban inadecuada la relación lineal entre la velocidad de proyección del peatón y la raíz cuadrada de la distancia de proyección y optaban por una regresión que utiliza una ley de potencia de la forma:

*Ecuación 32* 
$$v_v = C(S - S_0)^D$$

El valor de  $S_0$  se eligió para maximizar la correlación de la regresión y los parámetros del modelo que se incluyen en la Tabla 21 (Wood & Simms, 2009, p. 70).

Tabla 21: Valores de los parámetros trayectoria de envolvimiento

Nivel de confianza de la predicción de la velocidad	Trayectoria de envolvimiento			
	S <sub>0</sub>	C	D	R
Probable inferior	1,8	3,7	0,47	0,99
Probable superior	1,4	4,3	0,46	0,99
Normal inferior	1,9	2,9	0,49	0,99
Normal superior	1,2	4,8	0,46	0,99
General inferior	1,9	2,3	0,51	0,99
General superior	1,2	5,3	0,46	0,99

Usando esta relación de regresión, se compararon los valores obtenidos en cada distancia de proyección con los datos de los experimentos disponibles y mediante una función de Student t se comprobó que no había diferencias significativas entre las velocidades de colisión de los test y las que ofrece el modelo con un nivel de confianza del 95 %.

Al año siguiente el mismo equipo revisó sus resultados para conseguir una velocidad de colisión del vehículo que utilizaba la misma relación anterior, pero en la cual habían cambiado ligeramente los coeficientes de la velocidad media de acuerdo con esta nueva tabla (Wood, et al., 2005, p. 6):

Tabla 22: Valores de los parámetros trayectoria de envolvimiento

Nivel de confianza de la predicción de la velocidad	Trayectoria de envolvimiento			
	S <sub>0</sub>	C	D	R
Inferior (0,1 percentil)	1,9	2,3	0,51	0,99
Media	1,6	4,0	0,47	0,99
Superior (0,1 percentil)	1,2	5,3	0,46	0,99

En ambos casos, la velocidad del vehículo se refiere la velocidad de colisión justo en el momento del impacto con el peatón. Esta tabla parece más simple de comprender y de aplicar en la realidad, habiendo sido validada con casi doscientos nuevos casos reales publicados con buenos resultados.

#### 4.2.2 Modelos de proyección horizontal

##### – Método de H. Appel

Tal y como se ha dicho, este método empírico está basado en una serie de test realizados y en el análisis de 137 accidentes reales (Appel, et al., 1975, pp. 83-100) y, aunque, en ese estudio no se diferencia claramente entre las dos trayectorias tenidas en cuenta en este trabajo, la fórmula obtenida para vehículos de frontal alto y la obtenida con niños puede utilizarse, con las debidas precauciones a la proyección horizontal.

Tabla 23 Ecuaciones de Appel aplicables a la proyección horizontal

Supuesto de aplicación	Muestra	Ecuación	Correlación
Vehículo con frontal alto	n = 56	$S = 0,084 \times V^2$	$R^2 = 0,76$
Niños	n = 39	$S = 0,088 \times V^2$	$R^2 = 0,80$

O bien despejando las correspondientes velocidades:

$$\text{Ecuación 33} \quad v_{p\_forma\ recta\ (pontoon)} = \sqrt{\frac{S}{0,084}}$$

$$\text{Ecuación 34} \quad v_{p\_niño} = \sqrt{\frac{S}{0,088}}$$

– Modelo de Sturtz

De nuevo, utilizando los datos de Appel se definió una nueva relación estadística que ahora se convertía en cúbica (Sturtz, et al., 1976, p. 483):

$$\begin{array}{ll} \text{Adultos} & S = 1,0 + 0,61v_v + 0,0018v_v^3 \\ \text{Niños} & S = 0,6 + 0,76v_v + 0,0021v_v^3 \end{array}$$

De nuevo hay que solucionar una ecuación cubica para determinar la velocidad del vehículo, pero al faltar uno de los factores resulta algo más sencillo realizarlo.

– Modelo de Toor

En un primer trabajo alcanzaron una fórmula basada en un análisis estadístico de una amplia muestra de casos de atropello y el resultado fue el siguiente (Happer, et al., 2000, p. 6; Toor, et al., 2002, p. 5) :

$$\text{Ecuación 35} \quad v_v = 11,4\sqrt{S} - 0,4$$

Con un error de  $\pm 10,5$  km/h para el percentil 85 de la muestra.

Dos años más tarde, se analizaron los datos de 359 atropellos a peatones aportados por diversas fuentes para revisar y validar modelos estadísticos anteriores (Toor, et al., 2002, p. 8).

$$\text{Ecuación 36} \quad v_v = 11,3\sqrt{S} - 0,3$$

Con un error estimado de  $\pm 10,5$  km/h en el intervalo de los percentiles 15 a 85 y de  $\pm 14$  km/h en el intervalo de los percentiles 5 a 95.

Un año más tarde, los mismos autores publicaron una ley de potencia que vinculaba la velocidad de atropello del vehículo con la distancia de proyección horizontal (Toor & Araszewski, 2003, p. 121)

$$\text{Ecuación 37} \quad v_v = 8,25 S^{0,61}$$

Con un error estimado de  $\pm 7,7$  km/h en el intervalo de los percentiles 15 a 85 y de  $\pm 12,2$  km/h en el intervalo de los percentiles 5 a 95.

– Modelo de Fugger

Se llevaron a cabo ciento cuarenta experimentos de atropellos a maniqués que seguían una trayectoria de proyección horizontal, tanto en superficies mojadas como en las mismas superficies secas a peatones (Fugger, et al., 2002, p. 9).

Formulas en superficies secas:

$$\text{Ecuación 38} \quad v_{v\_mínimo} = 8,77\sqrt{S - d_0}$$

$$\text{Ecuación 39} \quad v_{v\_máximo} = 13,76\sqrt{S - d_0}$$

Formulas en superficies mojadas:

$$\text{Ecuación 40} \quad v_{v\_mínimo} = 8,77\sqrt{S - d_0} \left( \frac{0,41}{0,43} \right)$$

$$\text{Ecuación 41} \quad v_{v\_máximo} = 13,76\sqrt{S - d_0} \left( \frac{0,41}{0,43} \right)$$

Las ecuaciones de regresión obtenidas de la muestra fueron las siguientes, la primera para una superficie seca y la segunda para una superficie mojada:

$$\text{Ecuación 42} \quad v_{v\_seco} = -4,0894 + (16,0339 \ln S)$$

$$\text{Ecuación 43} \quad v_{v\_mojado} = 0,2113 + (10,0365 \ln S)$$

Teniendo como datos adicionales para la superficie seca  $R^2 = 0,88$  y origen (0,98 m, 0 Km/h) y para la mojada  $R^2 = 0,95$  y origen (1,29 m, 0 Km/h).

Los experimentos con maniqués en el atropello, en su trayectoria, no varían significativamente en función de las circunstancias de la superficie, ya sea seca o mojada. El valor máximo del ángulo de proyección ( $\theta$ ) observado en todos los test ejecutados se sitúa alrededor de los  $14^\circ$  en una superficie mojada, mientras que los valores medios fueron  $1,78^\circ$  y  $2,6^\circ$  en superficies secas y mojadas, respectivamente.

En cambio, en relación con la distancia de proyección total, a partir de los 20 km/h de velocidad de impacto, es mayor en la superficie húmeda que en la misma superficie seca (Fugger, et al., 2002, p. 8).



– Modelo de Simms-Wood

En cambio para la trayectoria postimpacto de proyección horizontal la relación empírica es la siguiente (Wood, et al., 2004, p. 222).

Ecuación 44 
$$v_v = A\sqrt{S} + B$$

Donde ahora los valores a utilizar son los que se establecen en la Tabla 24 tabla (Wood & Simms, 2009, p. 70).

Tabla 24: Coeficientes de la regresión lineal para el modelo de proyección horizontal

Nivel de confianza de la predicción de la velocidad	Adultos			Niños		
	A	B	R	A	B	R
Probable inferior	3,5	-1,2	0,99	3,4	-1,6	0,99
Probable superior	3,9	-1,5	0,99	3,8	-1,4	0,99
Normal inferior	3,0	-1,6	0,99	2,9	-1,5	0,99
Normal superior	4,3	-1,4	0,99	4,1	-1,2	0,99
General inferior	2,5	-1,3	0,99	2,4	-1,2	0,99
General superior	4,6	-1,2	0,99	4,4	-1,0	0,99

Un año después, el mismo equipo revisó sus resultados para conseguir una velocidad de colisión del vehículo que utilizaba la misma relación anterior, pero en la cual habían cambiado ligeramente los coeficientes de la velocidad media de acuerdo con Tabla 25 (Wood, et al., 2005, p. 6).

Tabla 25: Valores de los parámetros trayectoria de proyección horizontal

Nivel de confianza de la predicción de la velocidad	Trayectoria de envolvimiento		
	A	B	R
Inferior (0,1 percentil)	2,5	-1,2	0,99
Media	3,7	-1,5	0,99
Superior (0,1 percentil)	4,6	-1,0	0,99

En ambos casos la velocidad del vehículo se refiere a la velocidad de colisión justo en el momento del impacto con el peatón.

Además, se ha medido el tiempo de contacto entre el peatón y el vehículo en una muestra de 38 experimentos de impacto y los resultados muestran claramente el patrón de una distribución normal con los siguientes datos (Aldman, et al., 1980, p. 182; Wood, et al., 2005, p. 13):

- Tiempo medio de contacto (s): 0,056
- Desviación estándar (s): 0,024
- Mínimo (s): 0,01
- Máximo (s): 0,14

El coeficiente de restitución ha sido analizado en otra muestra diferente de experimentos y también ha podido determinarse estadísticamente una relación lineal con la velocidad de impacto del vehículo medida en metros por segundo (Lucchini & Weissner, 1980; Wood, et al., 2005, p. 13)

$$e = 0,12 - 0,006 v_v$$

### 4.3 Modelos empíricos

Estos métodos empíricos solo permiten aproximaciones a la velocidad del vehículo en el momento del atropello. Su utilidad se encuentra en que permiten generar un rango amplio de valores o comprobar el valor conseguido por otro medio.

#### 4.3.1 Método de comparación con crash test

Se pueden comparar las evidencias del atropello real que es investigado con los datos conocidos y medidos de un experimento de similares características llevadas a cabo con un PMHS o con un maniquí. Principalmente, la comparación se haría a través del dato de la distancia de proyección y de las fotografías de los daños observados en el vehículo y de las distancias de envolvimiento (WAD) del impacto de la cabeza. Lo ideal sería que el PMHS o el maniquí fuera de dimensiones semejantes al peatón atropellado y el vehículo de la misma marca y modelo, o al menos, de la misma gama de vehículos. La dificultad estriba en la pequeña cantidad de este tipo de experimentos realizados y publicados.

Este procedimiento solo permite establecer un rango de posibilidades de velocidades de impacto o una hipótesis sobre la biocinémática del peatón que debe ser comprobada por otros modelos y métodos y por las evidencias.

#### 4.3.2 Daños en el vehículo

En segundo lugar, existen otros estudios específicos que permiten estimar la velocidad de atropello de un vehículo a partir de los daños permanentes sufridos por éste, ya que existe una correlación entre la velocidad de atropello y los daños en el vehículo.

En concreto, según datos facilitados por el Instituto de Gestión y Tecnología Policial (*Institute of Police Technology and Management, ITPM*) de la Universidad de Florida, se ha establecido gráficamente unos rangos de valores de la velocidad del vehículo en el momento del atropello y la altura de los daños del frontal del vehículo, desde el paragolpes hasta el techo pasando por el capó, la rejilla, los faros y el parabrisas (Martinez, 1998).





Figura 50: Correlación entre velocidad de atropello y daños en el vehículo.

Con vehículos más modernos, la relación entre el punto de impacto de la cabeza del peatón sobre el parabrisas y la velocidad del vehículo puede establecerse en base a experiencias realizadas, tanto con maniqués como por PMHS (Toor, et al., 2002, p. 2):

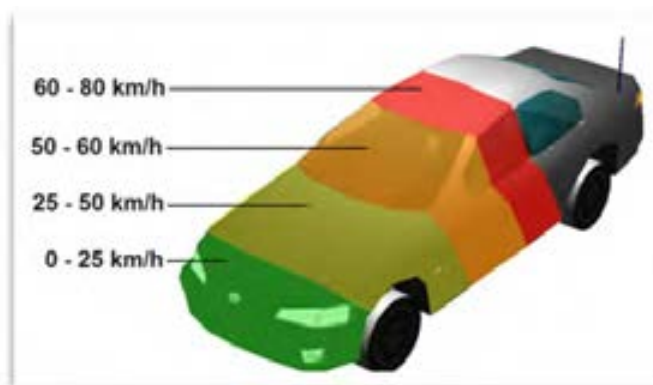


Figura 51: Relación entre la altura de impacto de la cabeza del peatón y la velocidad de impacto del vehículo

De este modo, los daños analizados sólo incluyen colisiones que presentan una velocidad aproximada de impacto de hasta 80 Km/h. Por consiguiente, las tendencias presentadas de daños en un vehículo sólo pueden emplearse para velocidades de impacto cuyo valor no sea superior a 80 Km/h.

En todo caso este método solo permite hacer una primera estimación y en ningún caso puede servir para establecer conclusiones.

#### 4.4 Modelos informáticos avanzados

Estos modelos, que también han recibido la denominación complejos (Depriester, et al., 2005, p. 7), utilizan los ordenadores y sus potentes capacidades de cálculo para tener en cuenta muchas más variables en sus modelos y, además, de poder calcular su interacción de una forma dinámica a lo largo del tiempo.

#### 4.4.1 Modelo de PC-Crash

PC-Crash es un programa informático de simulación, desarrollado en Austria, que permite reconstruir y analizar colisiones entre vehículos y otros tipos de impactos (DSD, 2014). Es habitualmente utilizado por peritos en reconstrucción, investigadores policiales, investigadores privados, compañías de seguros, por la industria automovilística y por los investigadores de la Universidad. Sus modelos han sido comprobados y validados a lo largo de los últimos veinte años en publicaciones científicas internacionales y en crash test, algunos de ellos llevados a cabo en la Universidad de Graz y por la propia empresa propietaria del producto.

El programa de reconstrucción PC-Crash puede simular la colisión entre un sistema multicuerpos con su modelo de vehículo, que es tratado como un sólido rígido simple. Esta simplificación funciona bien en impactos entre vehículos, pero en un atropello es necesario que, al menos, el cuerpo del peatón sea más complejo y permita distinguir entre los diversos componentes anatómicos (Moser, et al., 1999, p. 1). Por este motivo utiliza un modelo de peatón compuesto por un sistema de cuerpos rígidos con forma de elipsoides interconectados por uniones, en lo que se denomina como multicuerpo (*multibody*).

PC-Crash está diseñado para integrar como cálculo previo estimativo un número importante de las ecuaciones comunes para calcular la velocidad de atropello a partir de la distancia total de proyección.

En las versiones avanzadas del programa la interacción entre el multicuerpo y el vehículo permite tener en cuenta su geometría y su diseño, si se dispone de una reproducción virtual 3D de su exterior. Con esta capacidad puede analizarse la influencia de esa geometría en la distancia de proyección e, indirectamente, en las lesiones producidas al peatón.

Los modelos de PC-Crash, están validados en diferentes documentos publicados por la SAE, específicamente su modelo multicuerpos fue validado por ingenieros de la propia empresa propietaria comparando los resultados obtenidos en atropellos reales a maniqués con los resultados de la simulación de los datos en el programa (Moser, et al., 2000, p. 1). A pesar de las limitaciones que el programa tiene, el modelo de peatón mostró resultados bastante precisos para su movimiento postimpacto y si se utilizan las posiciones adecuadas en el impacto, reproduciendo los contactos precisos con el vehículo, su velocidad de impacto puede calcularse con un error estimado de  $\pm 5$  km/h (Moser, et al., 2000, p. 7).

Ha sido utilizado, con las debidas precauciones, en investigaciones en profundidad sobre diseño de vehículos o la determinación del riesgo de sufrir lesiones en función de determinadas variables (Badea, et al., 2010, p. 3). En la versión actual del programa se anuncian importantes mejoras que pueden ser aplicadas a la investigación de atropellos, entre otras, la posibilidad de utilizar la geométrica concreta y detallada del vehículo implicado, la posibilidad de utilizar modelos multicuerpos y FEM (*Finite Element Model*) de vehículos y la posibilidad de integrar las nubes de puntos procedentes del escáner tridimensional en el programa. Esta última ventaja significaría una precisión mucho mayor en la determinación de la relación de la simulación realizada con el programa con

la localización y magnitud de la deformación del vehículo y con las lesiones observadas en el peatón.

En todos los casos reales analizados en este trabajo se utilizará el programa PC-Crash, en sus diferentes versiones, para realizar la reconstrucción informática de la secuencia de eventos y comprobar el rango de velocidades calculado en el cálculo analítico.

#### 4.4.2 Modelo de Madymo

Madymo es un programa de simulación desarrollado por una empresa holandesa de gran prestigio (TASS, 2015) que combina sus capacidades con la mayor base de datos mundial de modelos humanos precisos y fiables que pueden contribuir a la reconstrucción de accidentes a través de su rendimiento visual, su velocidad de análisis y la explotación de sus diversas opciones y efectos.

En lo que respecta a los modelos humanos, en la actual versión de Madymo, se puede utilizar siete modelos completos o parciales maniquíes e impactadores y tres modelos humanos escalables. Todos estos modelos han sido validados por la propia empresa y los resultados son públicos, además de publicados, aunque también hay trabajos sobre la aplicabilidad y fiabilidad de sus modelos en el caso concreto de atropellos a peatones comparándolos con experimentos reales con modelos reales de maniquíes (Anderson, et al., 2007, p. 18). En el caso concreto del modelo utilizable en el atropello de peatones ha sido validado con sujetos PMHS en posición lateral al recibir el impacto de un vehículo que viajaba a 6.9–10.8 m/s (TASS, 2015; Depriester, et al., 2005, p. 8).

El modelo de vehículo utilizado en Madymo, puede ser tanto un sólido rígido, como un multicuerpos o un modelo FEM, todos presentan ventajas e inconvenientes dependiendo de la finalidad con que se utilice el programa y los objetivos de la investigación.

Hay numerosos trabajos que han aplicado, simultánea o sucesivamente, los programas PC-Crash y Madymo para simular y analizar los diversos contactos que el cuerpo del peatón tiene con el vehículo durante un atropello (Xu & Fan, 2007, p. 2235; Li & Li, 2015, p. 1949).

#### 4.4.3 Modelo de LS-DYNA

El programa informático LS-DYNA ha sido desarrollado por la empresa norteamericana, que también cuenta con otras aplicaciones complementarias y relacionadas con esta (Livermore Software, 2011). Este programa utiliza el análisis por elementos finitos (*Finite Element Analysis, FEA*) que se basa en una técnica numérica llamada método de los elementos finitos (*Finite Element Method, FEM*) de aplicación generalizada en todos los campos de la Ingeniería. LS-DYNA es un programa de simulación dinámica que incluye la aplicación de FEA, lo que aumenta su sentido realista al tener en cuenta los efectos complicados de analizar de varios componentes y uniones con características próximas a las reales.

Para realizar una simulación de un atropello a un peatón con un programa informático de elementos finitos se tiene que generar un archivo compuesto por dos modelos de elementos finitos: un maniquí, que representa al peatón, y un vehículo. Una vez unidos ambos modelos en un único fichero y posicionados correctamente, uno a continuación del otro, se le proporciona velocidad al vehículo para que impacte con el peatón (Gálvez Román, 2011, p. 72).

Trabajando con elementos finitos el vehículo no tiene por qué ser un sólido rígido como sucedía en PC-Crash 8.0, sino que puede tener múltiples piezas lo que lo hace muy semejante en su geometría y forma tridimensional externa al modelo, pero además permite atribuir diferentes cualidades físicas (rigidez, restitución, rozamiento,...) a los diferentes materiales de los cuales están hechos cada pieza. Por ejemplo, en el trabajo de Gálvez se utilizó un modelo de vehículo que constaba de 205 partes (Gálvez Román, 2011, p. 74), y que fue realizado por Centro Nacional de Análisis de Siniestros (*National Crash Analysis Center, NCAC*) de los Estados Unidos de América en el que se pueden obtener más modelos FE gratuitos (NCAC, 2015).

En el mercado existe un amplio catálogo de modelos de FE que idealizan el cuerpo humano o un maniquí de humano utilizado en crash test reales. En el mismo trabajo citado, el maniquí virtual empleado en la simulación representa al maniquí peatón masculino percentil 50 Hybrid III. El modelo ha sido desarrollado por la misma empresa que desarrollo el programa en diciembre del 2009 y cuenta con un total de 4267 elementos y 7468 nodos (Gálvez Román, 2011, p. 77).

Quizás la gran ventaja de este tipo de programas es su capacidad para ofrecer los resultados en las mismas unidades de medida que se utilizan en los experimentos de atropellos a maniquíes o a PMHS, por ejemplo mientras PC-Crash ofrece las aceleraciones en la cabeza a lo largo del tiempo

Finalmente se han realizado diversos trabajos que exploran el uso conjunto, simultáneo o posterior, de PC-Crash y LS-DYNA en el análisis de siniestros viales (Ootani & Pal, 2007, p. 1) o de Madymo y LS-DYNA para los mismos propósitos (Ptak & Karlinski, 2012, p. 103; Martínez, et al., 2007, p. 2). La utilización de programas de multicuerpos como PC-Crash y, posteriormente, ahondar en el análisis con programas específicos para utilizar modelos de elementos finitos, es la base de la metodología utilizada en el proyecto Abida (Aparicio Izquierdo, 2005, p. 12).

## **5. BIOMECÁNICA LESIONAL DEL PEATÓN**

La dinámica de los peatones cuando son atropellados por un vehículo, la biodinámica del cuerpo humano en estos eventos y la consiguiente distribución de las lesiones sufridas están influidas por factores diversos, tales como la velocidad del impacto, la tipología del vehículo, la rigidez y geometría del frontal del vehículo, la edad y la talla del peatón y la posición del peatón con relación al punto de impacto con el frontal del vehículo. En definitiva no hay que insistir en la complejidad de esta tipología concreta de hechos lesivos.

La comprensión del mecanismo lesional del peatón atropellado no es solo importante para diseñar mejores sistemas de protección, o eliminar materiales dañinos para su integridad física, sino que también es un conocimiento crítico en la gestión de las

lesiones de las personas atropelladas en las salas de emergencias hospitalarias, de dónde se deduce que los hospitales que atienden a los lesionados deben estar integrados en la alimentación de datos y en el acceso a su explotación en una base de datos sobre este tipo de siniestros viales.

De todos los caminos posibles para avanzar en el conocimiento de la biomecánica lesional del peatón atropellado, aquí se presta atención a dos de ellos: por un lado, se pueden realizar estudios epidemiológicos, más o menos extensos en la cantidad y calidad de la muestra, junto a estudios de investigación en profundidad y, por otro lado, se puede llevar a cabo un análisis biomecánico de cada región anatómica afectada para conocer los mecanismos lesionales y los principales parámetros que intervienen en la mayor o menor lesividad en cada registro anatómico. El resultado final que se pretende establecer es una serie de valores límite que permitan comparar la realidad, los experimentos con maniquíes o con PMHS, las simulaciones de ambos y los test de impacto actualmente en vigor en Europa.

### 5.1 Acercamiento epidemiológico a las lesiones observadas en peatones atropellados

La distribución estadística de las lesiones observadas en los peatones atropellados según la región corporal afectada ha sido objeto de bastantes estudios epidemiológicos realizados por investigadores de diferentes países desde los años ochenta y principios de los noventa, y que ha sido completada con los datos más recientes publicados.

Con la información contenida en las bases de datos en profundidad elaboradas en Europa en el proyecto Aprosys (Carter & Neal-Sturgess, 2008, p. 640), en Estados Unidos de Norteamérica en el estudio PCDS (*Pedestrian Crash Data Study*) (Chidester & Isenberg, 2001, p. 7), en Alemania en el estudio de la Universidad de Hannover (Kalliske & Friesen, 2001, p. 5) y en Japón un estudio llevada a cabo por JARI (*Japan Automobile Research Institute*) (Mizuno, 2005, p. 3) se ha confeccionado la Tabla 26 en la que se exponen los porcentajes de lesiones en diferentes zonas corporales del cuerpo de los peatones causados por una colisión con un vehículo de motor.

Tabla 26: Resumen de estudios epidemiológicos de lesiones causadas a peatones atropellados

Distribución de las lesiones apreciadas en peatones atropellados					
AIS (1-6)					
Región corporal	APROSYS 1997-2003 (n= 465)	USA 1994-1998 (n=521)	Alemania 1985-1998 (n=783)	Japón 1987-1998 (AIS 2-6) (n=240)	MEDIA
Cabeza	27,1 %	17 %	32,5 %	28,9 %	<b>28%</b>
Cara	12,3 %	16 %	0 %	2,2 %	<b>7,25%</b>
Cuello	0,2 %	0,0 %	1,1 %	4,7 %	<b>2,45%</b>
Tórax	4,7 %	5 %	8,5 %	8,6 %	<b>6,65%</b>
Abdomen	3,7 %	5 %	2,8 %	4,7 %	<b>4,2%</b>
Pelvis	3,4 %	5 %	6,0 %	4,4 %	<b>3,9%</b>
Brazos	13,8 %	20 %	15,9 %	9,2 %	<b>11,5%</b>
Piernas	34,0 %	33 %	32,7 %	37,2 %	<b>35,6%</b>
Desconocido	0,9 %	0,0 %	0,5 %	0,0 %	<b>0,45%</b>
TOTAL	100 %	100 %	100 %	100 %	<b>100,00%</b>

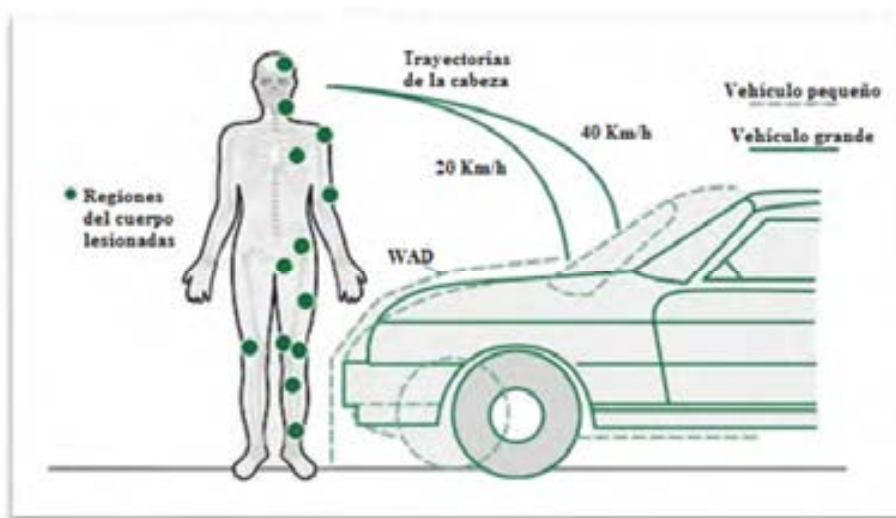


Del análisis de la información contenida en estas bases de datos se puede concluir que las lesiones más frecuentes en los atropellos se localizan en la cabeza, una media del 28 %, y en las extremidades inferiores, con un valor porcentual de 35,6 %.

En Francia, el registro de traumatismos de Rhône cuenta con datos sobre 3289 atropellos ocurridos en el periodo comprendido entre 1996 y 2007 (Martin, et al., 2011, p. 140). De esa base de datos puede extraerse que parte anatómica del cuerpo humano se vio afectada sobre el total de registros, estando los resultados distribuidos de la siguiente forma cabeza (38,7 %), tórax (8,54 %), el abdomen (2,98%), pelvis (8,79%), brazos (26,45%) y piernas (49,56%).

En la Figura 52 se puede ver el esquema de las zonas corporales representativas que resultan lesionadas (círculos verdes) en un atropello de un peatón adulto por el frontal de un vehículo, mostrando las trayectorias de la cabeza con respecto a coches pequeños (trazo discontinuo) y grandes (trazo continuo), los cambios de localización del impacto de la cabeza a dos velocidades de impacto distintas (20 Km/h-40 Km/h).

También se puede ver la representación gráfica de la Distancia *WAD*, en trazo discontinuo que es la distancia desde el suelo al punto de impacto en el capo o en el parabrisas siguiendo el perfil del frontal del vehículo (Yang, 2005, p. 104).



*Figura 52: Regiones del cuerpo lesionadas y trayectorias de la cabeza*

Como se ha visto en el estudio teórico, la localización del punto de impacto de la cabeza en el vehículo depende en gran manera del tamaño y la forma del vehículo y de la altura del peatón. La velocidad de impacto del vehículo también tiene una influencia determinante en la distancia a la cual golpea la cabeza del peatón. Para un peatón adulto, el punto de impacto en el vehículo, generalmente, se encuentra entre la parte final del capó, en el pilar A y en el cristal del parabrisas. Pueden encontrarse casos hasta en la parte superior del parabrisas o, en casos excepcionales, en el techo del vehículo.

Volviendo al conjunto de estudios utilizados en la Tabla 26, pero utilizando ahora la información sobre las partes del vehículo y la calzada que lesionan al peatón puede realizarse la Tabla 27 (IHRA, 2003, p. 4).

Tabla 27: Porcentaje de partes del vehículo y calzada que impactan con el peatón

Distribución de las de las partes de los vehículos que golpean a los peatones atropellados AIS (2-6)					
Lugar o parte donde se produce la lesión	EUROPA	USA 1994-1998 (n=521)	Australia 1985-1998 (n=783)	Japón 1987-1998 (n=240)	MEDIA
Parachoques	21,0%	20,9%	19,8%	23,0%	<b>28%</b>
Capó / aleta	15,1%	21,6%	13,2%	14,0%	<b>7,25%</b>
Borde frontal capó /aleta	9,7%	13,8%	17,6%	8,5%	<b>2,45%</b>
Cristal parabrisas	16,0%	17,2%	5,5%	4,5%	<b>6,65%</b>
Marco parabrisas /pilar A	8,1%	8,7%	36,3%	7,7%	<b>4,2%</b>
Panel frontal	2,5%	4,4%	0%	5,0%	<b>3,9%</b>
Otros	4,3%	7,0%	1,6%	12,4%	<b>11,5%</b>
Contacto indirecto	1,0%	0,6%	0%	6,9%	<b>35,6%</b>
Superficie de la calzada	13,0%	5,9%	4,9%	9,8%	<b>0,45%</b>
Desconocido	9,4%	0,0%	1,1%	8,2%	<b>8,8%</b>
TOTAL	100 %	100 %	100 %	100 %	<b>100,00%</b>

Si se pretende analizar la correlación de lesiones y lugares de impacto en el vehículo es necesario realizar un estudio como el realizado por la Universidad de Hannover y presentado en la Figura 53. En este gráfico se establecen los diferentes porcentajes de lesiones en diferentes zonas anatómicas del cuerpo de los peatones causadas por una colisión con un vehículo de motor, basados en la información recogida en la base de datos en profundidad alemana GIDAS-Universidad de Hannover entre los años 1985 y 1998. Además, a la derecha se pueden ver los componentes del vehículo y de la propia carretera que, con habitualidad, causan las citadas lesiones (Kalliske & Friesen, 2001, p. 5).



Figura 53: Distribución de las lesiones corporales y las zonas del vehículo y la carretera que las producen

La Figura 53 muestra que las extremidades inferiores son las partes del cuerpo que más frecuentemente resultan lesionadas en los peatones (32,7 %). Dentro de las lesiones que se producen en las extremidades inferiores las de rodilla son las más graves a causa de los elevados niveles de incapacidad que acarrearán y los largos periodos de rehabilitación

que necesitan en su recuperación. Las lesiones en la cabeza (32,5 %), que pueden acarrear la muerte, y las lesiones en las extremidades superiores (15,9 %) son también muy frecuentemente observadas en este tipo de accidente.

El examen de las diferentes áreas del frontal del vehículo en consideración a su influencia en las lesiones muestra que el 15,6 % de las lesiones son causadas por el cristal del parabrisas y su marco, el 13,3 % por la parte superior del capó o las aletas, el 6,9 % por el por la parte superior del frontal y el 15,3 % por el parachoques. Estos porcentajes suman el 83%, y el resto hasta alcanzar el total comprende los casos desconocidos y las lesiones causadas por otras partes del vehículo. Si lo referimos a las lesiones individualmente consideradas, por ejemplo la cabeza, se observa que el 36,4 % de las lesiones son causadas por el parabrisas y su marco y el 17,3 % son debidas al capó. En cambio en lo que a la cadera se refiere el 40,1 % de las lesiones a situadas en esta región corporal son debidas a la parte superior del frontal del vehículo, mientras que el 44,2 % de las lesiones en las piernas son consecuencia del impacto con el parachoques.

Aparece como evidente el efecto que tienen los parámetros de diseño del vehículo, tales como la altura, el ángulo de ataque y la rigidez del parachoques o la longitud y la rigidez del capó, en la severidad de las lesiones causadas a los peatones.

Pero la Figura 53 solo ofrece una imagen estática de las partes del vehículo y de la calzada que producen las lesiones, es necesario conocer es misma imagen a lo largo de los últimos cincuenta años para apreciar cómo influyen se los materiales y el diseño de los vehículos en la lesividad de los peatones atropellados y si existe un desplazamiento.

Utilizando la información de GIDAS y la Universidad de Hannover se puede ver que los vehículos diseñados y fabricados en los años setenta afectaban mucho a la cabeza y a las extremidades inferiores (Otte, 2013, p. 36). Se trata del porcentaje total de casos en los cuales se encontraba afectada la parte anatómica correspondiente.



Figura 54: Regiones anatómicas afectadas por vehículos diseñados en los años setenta

Estos datos corresponden a los inicios de la investigación en profundidad y, aunque la muestra era alta, en total 392 atropellos, es probable que los atropellos mortales estén sobrerrepresentados.



En los vehículos correspondientes a los años noventa bajan significativamente todas las regiones anatómicas, siendo la muestra considerablemente mayor al constar de 1074 casos (Otte, 2013, p. 38).

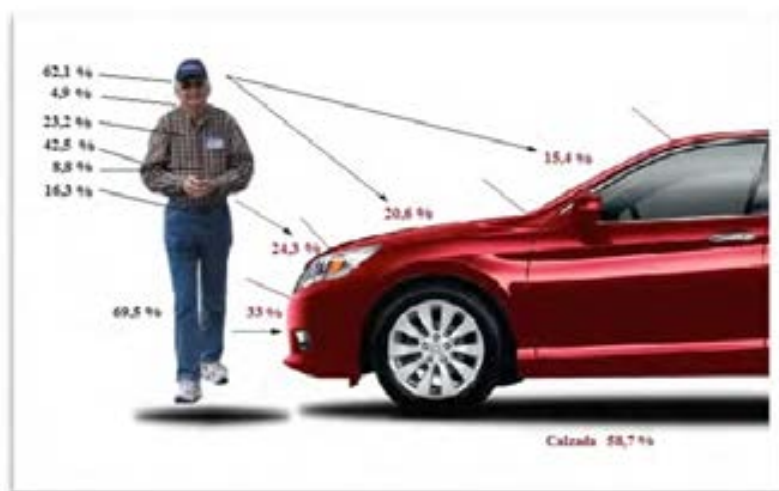


Figura 55: Regiones anatómicas afectadas por vehículos diseñados en los años noventa

Desde los noventa hasta el presente, en los diseños se ha hecho un importante esfuerzo sobre la prevención de los traumatismos de cabeza, pero el resto de la anatomía no ha mejorado mucho. La muestra consta de 780 casos (Otte, 2013, p. 40).

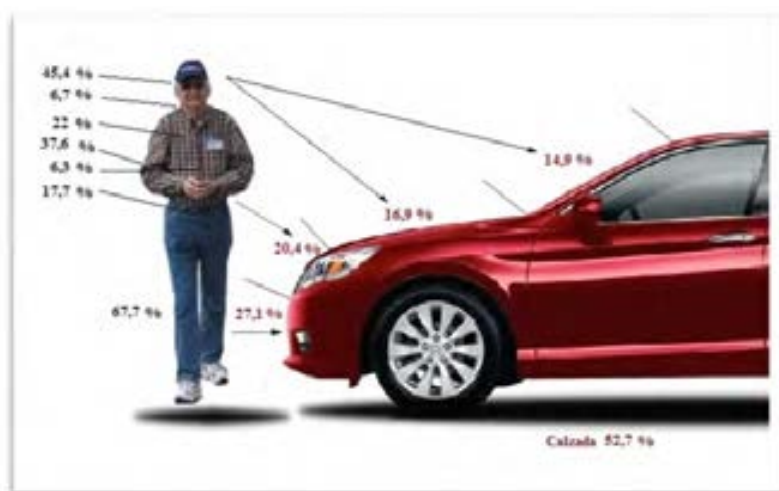


Figura 56: Regiones anatómicas afectadas por vehículos actuales

Por último, en la Figura 57 se puede observar la distribución de lesiones en atropellos a peatones en España, distinguiendo entre vías urbanas y vías interurbanas (Guerra, 2006, p. 8), lo cual resulta muy acertado ya que las características de unos y otros siniestros son bastante diferentes.

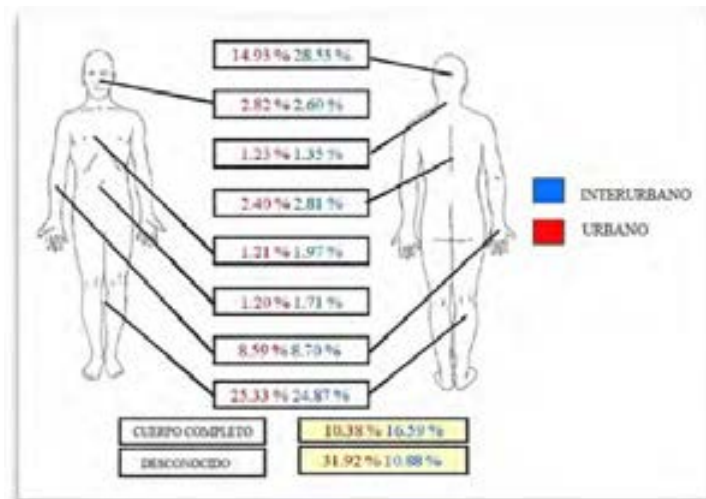


Figura 57: Distribución de lesiones por atropello a peatones en España

Los atropellos son más frecuentes en las vías urbanas, pero los ocurridos en las carreteras y autovías tienen resultados más graves desde el punto de vista de la integridad física del peatón. En los heridos graves, las lesiones en las extremidades inferiores cobran cada vez una gran importancia, pero son las heridas en la cabeza las que causan la mayor mortalidad. En las víctimas muertas en vías urbanas las lesiones en cabeza se encuentran cerca del 40 %, y esto teniendo en cuenta que existe un porcentaje del 23 % de lesiones sin clasificar (Guerra, 2006, p. 13).

## 5.2 Análisis de las lesiones producidas por el atropello por registros anatómicos

Los estudios biomecánicos identifican los mecanismos lesionales debidos a los diferentes impactos con el vehículo, aunque hay pocos que incluyan los impactos contra el suelo en su contenido.

El mecanismo lesional puede definirse como una descripción de los cambios mecánicos y fisiológicos que ocasionan el daño anatómico y funcional.

A continuación se desganan de forma sintética los resultados de estos estudios sobre la estructura y composición de cada una de las regiones anatómicas en que se suele descomponer el cuerpo humano, las lesiones más habituales en los peatones y los mecanismos lesionales.

### 5.2.1 La cabeza

La cabeza se compone de una estructura ósea, denominada cráneo, que rodea y protege al contenido intracraneal integrado por el cerebro, el cerebelo y el tronco del encéfalo.

Las lesiones más frecuentemente observadas en la cabeza de los peatones, a consecuencia de los Traumatismos Craneoencefálicos (TCE), son las fracturas craneales, incluyendo las laceraciones, las contusiones, los diferentes tipos de hematomas intracraneales y el Daño Axonal Difuso (DAI) (Fahlstedt, 2015, p. 7).

Las lesiones de la cara son heridas, raspaduras, cortes o lesiones debidas a la proyección en el parabrisas de un vehículo ligero, lo que explica también las heridas en los párpados, así como heridas más graves del globo ocular. En cambio, las fracturas de la cara, al margen de las clásicas fracturas nasales, no se encuentran en gran número; las fracturas del macizo facial se asocian con frecuencia con lesiones masivas del cráneo (Rodríguez Jouvencel, 2000, p. 140).

Estos traumatismo se producen por el impacto directo de una parte del vehículo sobre la cabeza o más frecuentemente por el choque de la cabeza contra el suelo u otro obstáculo cualquiera. Cuando esto sucede se pueden observar tres tipos distintos de mecanismos de lesión (Yang, 2005, p. 5; Fahlstedt, 2015, p. 12):

- Lesiones frente al impacto craneal: lesiones por impacto.
- Lesiones de contra golpe: el cerebro golpeando la tabla interna de la bóveda craneana del lado opuesto al choque, por un mecanismo indirecto de agitación.
- Lesiones de desaceleración

La cabeza del peatón con el contacto del frontal del coche está sujeto a un impacto de fuerza directa y a una aceleración angular, así pues el peatón puede tener una lesión compleja de cráneo-cerebro originada por la respuesta combinada de impacto.

Las fracturas del cráneo son de todos los tipos clasificados medicamente y están bastante bien repartidas. Se han descrito situaciones en que los daños han sido tan importantes que se etiquetaron como fracturas múltiples de cráneo con lesiones de tejido cerebral. Estas lesiones vitales explican por sí solas la tasa de mortalidad de este grupo (Rodríguez Jouvencel, 2000, p. 140).

Por otro lado, si un peatón es golpeado por un móvil, mientras se desplaza a gran velocidad, la masa encefálica que tiene la consistencia de gel, se aplasta o comprime contra las paredes internas de la bóveda craneal, produciéndose de esta forma contusiones hemorrágicas de los lóbulos frontales y temporales de una parte, del tronco cerebral por otra parte. De la misma forma, cuando la cabeza es objeto de una carga de inercia en una aceleración angular, habrá un movimiento relativo entre el cráneo y el cerebro.

Las lesiones en la cabeza dependen, principalmente, de la duración del impacto y de su localización en el cráneo, así como de la rigidez de la zona superficial de contacto de la parte superior del capo y el parabrisas, de tal forma que cuando la fuerza de impacto sobrepasa el nivel de tolerancia, el hueso craneal se fractura

Las lesiones de la cara son heridas, raspaduras, cortes o lesiones debidas a la proyección en el parabrisas de un vehículo ligero, lo que explica también las heridas en los párpados, así como heridas más graves del globo ocular. En cambio, las fracturas de la cara, al margen de las clásicas fracturas nasales, no se encuentran en gran número.

El impacto sobre el suelo sobreviene después de la fase de vuelo y puede agravar o crear lesiones craneofaciales.

### 5.2.2 *El cuello*

La columna vertebral es la principal estructura portante de la cabeza y el torso. Se divide en siete vértebras cervicales, doce torácicas y cinco lumbares. El cuello es la estructura formada por esas siete vertebras y el conjunto de músculos que unen el tronco con la cabeza (Schmitt, et al., 2010, p. 96).

La cinemática del peatón al ser golpeado por un vehículo puede llevar a pensar que la columna vertebral, en general, y su zona cervical, en particular, pueden estar sometidas a importantes solicitaciones. De hecho a nivel cervical se aprecian movimientos de hiperextensión, por aplastamiento de la cabeza contra las estructuras del vehículo, o hiperflexión, en la caída dorsal al suelo. En algunos casos, aparecen asociadas a alteraciones neurológicas (Rodríguez Jouvencel, 2000, p. 141).

En las trayectorias de salto mortal el golpe de la cabeza contra el vehículo o contra el suelo sucede a veces en posición vertical invertida lo que significa un riesgo elevado de lesiones importantes en el cuello y cabeza.

### 5.2.3 *El tórax*

El tórax está formado por una caja en forma de cilindro de forma irregular limitado en su porción superior por la unión con el cuello, y en su límite inferior por una amplia abertura limitada por el diafragma. En la parte inferior del tronco se encuentra la cavidad abdominal, que continúa la forma cilíndrica del tórax o incluso se ensancha formando una especie de tronco de cono (Teijeira Alvarez, 2007, p. 332). La parte inferior del abdomen se encuentra apoyada sobre las caderas y la pelvis. En el tórax se encuentran los pulmones y el corazón, mientras que en el abdomen existen una serie de órganos sólidos, -hígado, bazo, páncreas, riñones y glándulas suprarrenales-, y otros huecos, -esófago, estómago, y los intestinos-. También tienen interés otros órganos que pertenecen a la cavidad pélvica como pueden ser la vejiga y, en su caso, el útero y los ovarios.

Las lesiones de tórax pueden atribuirse a tres mecanismos (Schmitt, et al., 2010, p. 146): la compresión del tórax, la carga viscosa dentro de la cavidad torácica, y la carga de inercia de los órganos internos. Los traumatismos torácicos a causa de la fuerza de compresión en el tórax puede producir la fractura de la parrilla costal, fractura de esternón, hemotórax y neumotórax. La viscosidad y la carga inercia interna puede causar contusiones en los pulmones y rotura de venas.

El impacto lateral del tórax es la forma más común de impacto entre vehículo-peatón. En este tipo de impactos, el tórax es acelerado hacia el capo y de repente decelerado debido al impacto brusco contra su superficie (Yang, 2005, p. 7). Como es lógico, el contacto del tórax con el frontal del vehículo es diferente en función a la edad y las tallas de los peatones. La lesión de tórax en adultos y adolescentes es atribuida principalmente al impacto de la zona superior del capo. Niños pequeños más bien sufren la lesión al impactar con el borde del capo y la parte frontal del vehículo.

Se observa un número elevado de lesiones de la cintura escapular en personas que han sufrido caídas violentas al suelo después de ser atropelladas por un vehículo ligero. Un buen número de peatones se golpea contra el suelo con la parte anterior del hombro, de ahí las lesiones del muñón del hombro. Igualmente, los atropellos por parte de

vehículos de dos ruedas provocan pocos impactos directos, pero llevan consigo violentas caídas al suelo (Rodríguez Jouvencel, 2000, p. 141).

#### 5.2.4 *La pelvis*

La pelvis es un anillo de huesos, compuesto por los dos coxales a los lados y con el sacro y el coxis formado la pared trasera. Dentro del sistema óseo del cuerpo humano, la pelvis es la estructura ósea que soporta el tronco y transmite los esfuerzos procedentes de la columna vertebral a las extremidades inferiores, a las que se encuentra conectada mediante las articulaciones coxofemorales (Schmitt, et al., 2010).

Las lesiones más frecuentes en peatones, y también en conductores y ocupantes de motocicletas, ciclomotores y bicicletas, son las fracturas abiertas, las fracturas de diversas zonas del mismo hueso y los focos de fractura conminuta. Las fracturas de pelvis, especialmente las clasificadas como inestables, son las que mayor riesgo vital suponen para el peatón, dentro siempre de las del aparato locomotor. A menudo la pared torácica y los pulmones son lesionados conjuntamente con las fracturas de costillas, las fracturas de esternón y las roturas de pleura (Schmitt, et al., 2010, p. 146). Las fracturas inestables, abiertas o cerradas, de pelvis parecen haberse incrementado en los últimos tiempos (Prat Fabregat, 2007, p. 351).

Los mecanismos lesionales en las fracturas de pelvis, en sus diversos subtipos y diferentes grados, son tres: la rotación externa, la compresión lateral y el cizallamiento. En atropellos a peatones el patrón de este tipo de fracturas en el impacto primario con el vehículo viene dado por la compresión lateral (Snedeker & Muser, 2003, p. 437). Una carga lateral concentrada en la pelvis por el borde del capo, y en la zona superior del fémur, tiene como resultado lesiones por compresión.

#### 5.2.5 *Las extremidades inferiores*

Las lesiones de las extremidades inferiores casi con toda probabilidad son causadas por el impacto del frontal del vehículo. La Figura 58 muestra una representación esquemática de las principales lesiones que se producen como consecuencia de un atropello en el que la posición del peatón es lateral. Una fuerza de impacto lateral que aplique una carga de torsión axial en la pierna, puede producir múltiples lesiones (Yang, 2005, p. 109).



*Figura 58: Lesiones principales producidas de las extremidades inferiores del peatón a consecuencia del atropello*

Sin lugar a dudas, son unas de las lesiones más comunes en los atropellos a peatones no mortales, también en España como se observa en la Figura 57. Las tipologías lesionales en las extremidades inferiores más comunes en este tipo de atropellos son las fracturas de huesos largos (fémur, tibia y peroné), las lesiones de rodilla y los esguinces o fracturas del tobillo o del pie. Estas lesiones son la consecuencia normal del impacto en la pierna del peatón de alguna de las partes del frontal del vehículo, tales como el parachoques, el capó y la parte superior del frontal. Este tipo de impacto y la subsiguiente aceleración transmitida a las extremidades inferiores tiene como resultado que se observen mecanismos complejos de lesión.

Se han apuntado como mecanismos de lesión en las extremidades inferiores (Arregui Dalmases & Luzón Navarro, 2007, p. 238): primero, la aceleración de la tibia en la parte proximal; segundo, el desplazamiento tangencial o cortante entre el fémur y la tibia, o en otras palabras un esfuerzo cortante por desplazamiento relativo del fémur con respecto a la tibia y, tercero, el ángulo en valgo forzado.

Considerando el caso más frecuente, el choque sobre un peatón con la parte delantera de un vehículo ligero, el miembro inferior es solicitado primero por el parachoques con alturas situadas alrededor de los 50 ó 60 cm, lo que significa que la tibia y el peroné reciben el impacto limitado en altura y contra un objeto rígido, lo que explica la frecuencia de estas fracturas (Rodríguez Jouvencel, 2000, p. 142).

El ángulo en valgo forzado se produce por el impacto del parachoques aproximadamente en la zona de la rodilla. La tibia intenta mantenerse en su posición inicial por el principio de inercia, el fémur seguirá al torso que se abate sobre el capó formando ese ángulo que provoca una sollicitación en el ligamento lateral interior, un incremento de la presión en el menisco externo, la meseta tibial y el cóndilo femoral externo que puede comprometer el sistema nervioso y circulatorio (Arregui Dalmases & Luzón Navarro, 2007, p. 239).

### 5.3 Indicadores y tolerancias a la lesión

Existen diferentes criterios de evaluación de la resistencia biomecánica de cada órgano o biomaterial y los umbrales de tolerancia a diferentes tipos de cargas y esfuerzos. Varios organismos, empresas e instituciones nacionales e internacionales han señalado o dispuesto, en su caso, diferentes criterios de lesión y valores para los niveles máximos de tolerancia de cada una de las partes del cuerpo.

#### 5.3.1 Cabeza

El criterio de lesión tiene unas bases históricas en el trabajo desarrollado por Gadd que utilizó el método de la Curva de Tolerancia de Estado de Waine (*Wayne State Tolerance Curve*, *WSTC*) para desarrollar lo que eventualmente fue conocido como el Índice de Severidad Gadd (*Gadd Severity Index*, *GSI*) (1966, p. 168). Posteriormente, se desarrolló, una relación entre la magnitud media de la aceleración lineal (anterior–posterior) y la duración del pulso de la carga que se conoce como el WSTC (Lissner, et al., 1960, p. 329).

Versace propuso una versión del actual Criterio de Lesiones en la Cabeza (*Head Injury Criteria*, *HIC*), en 1971, como una media de la aceleración media interrelacionada con el WSTC (1971, p. 780). La NHTSA propuso el HIC como un sustituto del GSI en la Regulación de Seguridad norteamericana FMVSS 208 (*Federal Motor Vehicle Safety Standards and Regulations*, *FMVSS*).

El indicador HIC ha sido desarrollado para medir las aceleraciones lineales que actúan sobre las cabezas de los seres humanos, ya sean ocupantes de un vehículo o peatones, calculado según la siguiente ecuación (Arregui Dalmases & Luzón Navarro, 2007, p. 243):

$$\text{Ecuación 45} \quad HIC = (t_2 - t_1) \times \left( \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} a_{res} \times dt \right)^{2,5}$$

donde  $t_2$  y  $t_1$  son cualquiera dos tiempos arbitrarios durante el pulso de aceleración debido al impacto en el hueso frontal. La aceleración lineal resultante en el centro de gravedad de la cabeza es medida en múltiplos de la aceleración de la gravedad ( $g$ ) y el tiempo es medido en segundos.

En el Reglamento (CE) 78/2009 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 14 de enero de 2009, relativo a la homologación de vehículos en lo que se refiere a la protección de los peatones y otros usuarios vulnerables de la vía pública este indicador se denomina como Criterio de referencia en el ensayo de comportamiento de la cabeza (*Head Performance Criterion*, *HPC*).

No tiene en cuenta la influencia de algunos factores, tales como la aceleración rotacional de la cabeza, o cualquier efecto de la localización del impacto en la cabeza, aunque tiene a su favor que es casi utilizado universalmente en la investigación de las lesiones producidas por todo tipo de colisiones.

El periodo de tiempo necesario para el cálculo del HIC ha sido establecido en un máximo de 15 milisegundos y cuando el HIC supera el valor de 1000 se considera que ha



alcanzado el umbral a partir del cual se esperan lesiones en las personas que sufren aceleraciones lineales de esa magnitud. Este nivel HIC se corresponde con un 16 por ciento de riesgo de causar unas lesiones en la cabeza de una severidad catalogada como AIS 4 o superior (Mertz, et al., 2003, p. 177).

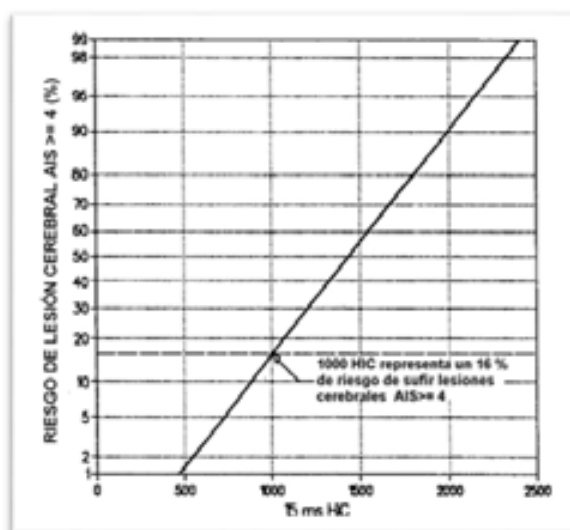


Figura 59: Curva de correlación entre el Riesgo de lesiones cerebrales y el índice HIC a 15 ms.

A un nivel del HIC sobre 1450 corresponde un nivel del 50 % de riesgo de fractura de cráneo, mientras un nivel del HIC de 700 corresponde un 5 % de que suceda lo mismo. En cambio, según el protocolo EuroNCAP, un valor de HIC de 1000 se asocia con un 20 % de probabilidad de riesgo de daño mayor o igual a AIS3, el cual es considerado grave (Arregui Dalmases & Luzón Navarro, 2007, p. 243).

Existe una cierta controversia sobre la validez del HIC como parámetro para determinar la probabilidad de observar lesiones en los seres humanos. Se ha comprobado que el HIC predice bien la probabilidad de fractura de cráneo, sin embargo, no predice todos los elementos que pueden ser responsables del daño cerebral (Aso Escario, 2011, p. 84; San Roman, et al., 2007, p. 415). Se han aportado diversos argumentos para criticarlo, la principal es que el HIC es solo una medida de la aceleración lineal en el centro de gravedad de la cabeza. Obviamente, tal y como se ha apuntado arriba, las aceleraciones angulares, también, causan deformaciones y lesiones en el cerebro. Sin embargo, los límites de las aceleraciones angulares no han sido, todavía, claramente establecidos para la cabeza humana.

Asumiendo que las aceleraciones lineales y rotacionales contribuyen igualmente a la probabilidad de lesiones en la cabeza y asumiendo que las tolerancias establecidas en experimentos con ambas aceleraciones también son válidas en un escenario de cargas combinadas, se puede utilizar el indicador GAMBIT (*Generalized Acceleration Model for Brain Injury Tolerance*), que es definido como (Schmitt, et al., 2010, p. 79).

Ecuación 46

$$GAMBIT = \frac{a_m}{250} + \frac{\varphi_m}{10}$$

Donde  $a_m$  (g) y  $\varphi_m$  (krad/s<sup>2</sup>) son la aceleración lineal media y la aceleración angular media respectivamente y considerado la aceleración lineal máxima tolerable 250 g y

tomando 10 krad/s<sup>2</sup> como límite de la aceleración angular. Así, un GAMBIT de 1,0 es el valor de tolerancia total. Hasta la fecha, existe una falta de validación de este criterio, por lo que es difícil que se utilice o que se incluya en una regulación.

### 5.3.2 Cuello

La propuesta de actualización del ensayo de choque frontal, según la legislación de los Estados Unidos de Norteamérica, incluye algún criterio actualizado como el Criterio de Lesión en el Cuello (*Neck Injury Criteria, NIC*), que tiene en cuenta tanto esfuerzos como momentos medidos durante el ensayo y se define como:

$$N_{ij} = \frac{F_z}{F_{\text{int}}} + \frac{M_y}{M_{\text{int}}}$$

La tolerancia a compresión varía con la duración de la carga de aplicación, con un valor pico de 4000 N. En 1980, se estableció en Estados Unidos de Norteamérica que los límites para las cargas de tensión y de cizalladura estaban en 3300 N y 3000 N respectivamente.

### 5.3.3 Tórax

No existe un criterio definido para medir el riesgo de lesión en el tórax en el caso de los peatones. La NHTSA ha establecido el Índice de Daño Torácico (*Thoracic Trauma Index, TTI*) como criterio para utilizar en los test de impacto lateral. Este índice se calcula usando la fórmula siguiente:

$$TTI(d) = \frac{1}{2}(G_r + G_{ls})$$

Donde:

- $G_r$  es el mayor de los picos de aceleración soportados tanto por las costillas superiores como por las inferiores.
- $G_{ls}$  el menor pico de aceleración en la medula espinal (T12).

El límite establecido por la NHTSA para el índice TTI alcanza el valor de 90 g's para un vehículo de pasajeros con dos puertas laterales, mientras que en Europa se sitúa este límite en 60 g's (Yang, 2005, p. 114).

### 5.3.4 Pelvis

La propuesta realizada por Cesari, en 1982, recogida y comprobada posteriormente, recomendaba como umbral de rotura de la pelvis un pico de fuerza medio de 10 kN, para ser aplicado a un test con un subsistema impactador de 11,1 kg (Snedeker, 2005, p. 19). Este impactador registra fuerzas y momentos flectores, así un momento flector de 300 Nm se asocia con una probabilidad de fractura de fémur o pelvis del 18 % y una fuerza resultante de 5 kN se asocia con la misma probabilidad de fractura (Arregui Dalmases & Luzón Navarro, 2007, p. 245). Estas dos cifras son las que utiliza como referencia EuroNCAP en sus protocolos de evaluación de vehículos.

### 5.3.5 Extremidades

No existe un indicador único aplicable a todos los huesos, articulaciones, músculos y ligamentos de las extremidades inferiores, pero la siguiente tabla resume perfectamente los valores umbral de aplicación usual en cada uno de los principales huesos de esta región anatómica (Yang, 2005, p. 114):

*Tabla 28: Valores límite de cada uno de las magnitudes físicas relacionadas en cada hueso de las extremidades inferiores.*

Región Corporal	Fuerza Compresión Axial		Fuerza de Torsión		Momento de Flexión		Fuerza Transversal	
	Masculino	Femenino	Masculino	Femenino	Masculino	Femenino	Masculino	Femenino
Femur	3'0 KN – 10 KN				320 Nm			
	7'7 KN	7'1 KN	175 Nm	136 Nm	310 Nm	180 Nm	3'9 KN	2'6 KN
Tibia							2'5 KN – 8 KN	
					317±88 Nm	278±30 Nm	4'7±1'4 KN	4'1±1'2 Nm
	10'4 KN	7'5 KN	89 Nm	56 Nm	07 Nm	124 Nm	3'4 KN	2'3 KN
Peroné	0'6 KN	0'5 KN	9 Nm	10 Nm	27 Nm	17 Nm	0'5 KN	0'3 KN

Mientras que para la rodilla, que tiene un mecanismo complejo de lesión, los valores son los que se incluyen en la Tabla 29.

*Tabla 29: Valores límite de lesión para la rodilla*

Región Corporal	Fuerza de flexión	Momento Flector	Fuerza de cizalladura
Rodilla	0,75-3 kN (cuasiestático)	156 (media)	
		101±21 Nm (15 Km/h)	1,8±0,4 kN (15 Km/h)
		123±35 Nm (20 Km/h)	2,6±0,5 kN (20 Km/h)
		129 (media)	
		331±79 Nm (40 Km/h)	2,6±0,5 kN (20 y 40 Km/h)

### 5.3.6 Valores umbral de lesión

El Programa Europeo de Evaluación de Vehículos Nuevos (EuroNCAP) realiza la evaluación de la protección de esos vehículos utilizando simuladores de cabeza, de parte superior de la pierna y de pierna. El primero se aplica sobre una matriz de celdas sobre el capo y el cristal del parabrisas y los dos segundos se aplican sobre el parachoques y el frontal del capó. Los valores límites utilizados en estos ensayos se exponen en la Tabla 30 (EuroNCAP, 2014, p. 3).

Tabla 30: Valoración de los indicadores de ensayos de protección de peatones en EuroNCAP

SIMULADOR DE CABEZA (Adultos 4,8 Kg / niños 2,5 Kg)					
INDICADOR	UNIDADES	CRITERIOS	Puntos		COLOR
HIC <sub>15</sub>	Adimensional	HIC <sub>15</sub> < 650	1,00		Verde
		650 ≤HIC <sub>15</sub> < 1000	0,75		Amarillo
		1000 ≤HIC <sub>15</sub> < 1350	0,50		Naranja
		1350 ≤HIC <sub>15</sub> < 1700	0.25		Marrón
		1700 ≤ HIC <sub>15</sub>	0,00		Rojo
SIMULADOR DE PIERNA SUPERIOR					
INDICADOR	UNIDADES	CRITERIOS	LIMITE		
MOMENTO FLECTOR	(Nm)	285	Superior		
		350	Inferior		
SUMA DE FUERZAS	(kN)	5,0	Superior		
		6,0	Inferior		
SIMULADOR DE PIERNA					
INDICADOR	UNIDADES	CRITERIOS	Puntos		COLOR
MOMENTO DE FLEXIÓN LA TIBIA	(Nm)	282	Superior		
		350	Inferior		
DESPLAZAMIENTO DEL LIGAMENTO LATERAL INTERNO RODILLA	(mm)	19	Superior		
		22	Inferior		
DESPLAZAMIENTO LIGAMENTOS CRUZADOS DE LA RODILLA	(mm)	285	Superior		
		350	Inferior		

Hay que observar que el razonamiento para la configuración de la posición lateral andando del peatón en el impacto se basa en un análisis de la base de datos en profundidad alemana GIDAS, de la que se deduce que más del 80 % de los atropellos a peatones se producen cuando están cruzando la calzada (EuroNCAP, 2014a, p. 4).

Por su parte, el Reglamento (CE) 78/2009 establece dos niveles de homologación de los vehículos nuevos en cuanto a la protección de los peatones, A y B, siendo algo más exigente el primero que el segundo. Además, de los ensayos para vehículos nuevos se establecen ensayos adicionales para los sistemas de protección delantera que sean unidades técnicas independientes. Estas unidades no podrán distribuirse, ponerse a la venta o venderse si no van acompañados de una lista de los tipos de vehículo para los que se ha homologado el sistema de protección delantera y de unas instrucciones claras de montaje.

En esta norma se establecen los niveles máximos para cada indicador en los diferentes ensayos con los simuladores para vehículos nuevos, de acuerdo, con el procedimiento establecido.



Tabla 31: Valores máximos de los indicadores en los diferentes ensayos del Rgto. 78/2009

SIMULADOR	PARTES VEHÍCULO	VELOCIDAD	INDICADOR	VALOR MÁX (A)	VALOR MÁX (B)
Parte inferior de la pierna	Parachoques	40 Km/h	Ángulo de flexión	21,0°	19,0°
			Desplazamiento de rotura	6,0 mm	6,0 mm
			Aceleración en la tibia	200 g	170 g
Parte superior de la pierna	Parachoques	40 Km/h	Suma de las fuerzas de impacto	7,5 kN	7,5 kN
			Momento flector	510 Nm	510 Nm
Parte superior de la pierna	Borde delantero capó	40 Km/h	Suma de las fuerzas de impacto	5,0 kN	5,0 kN
			Momento flector	300 Nm	300 Nm
Cabeza niño/adulto pequeño (3,5 kg)	Parte superior del capó	35 Km/h	HPC (HIC) zona A	1000 (2/3)	1000 (1/2)
			HPC (HIC) zona B	2000 (1/3)	1000 (2/3)
Cabeza adulto (4,8 kg)	Parabrisas	35 Km/h	HPC (HIC)	1000	1700 (resto) (*)

(\*) El HPC (HIC) registrado no excederá de 100 en la mitad de la zona de ensayo del simulador de cabeza de niño y, además, no excederá de 100 en dos tercios de las zonas de ensayo combinadas de los simuladores de cabeza de niño y cabeza de adulto. El HPC (HIC) de las demás zonas no excederá de 1700 en ambos simuladores de cabeza.

## 6. PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN EN PROFUNDIDAD DE ATROPELLOS A PEATONES

Algunos proyectos se han centrado en la investigación de siniestros viales en los que están involucrados Usuarios Vulnerables de la Vía (*Vulnerable Road Users, VRU*), otros directamente en los peatones y, algunos, dentro de investigaciones en profundidad genéricas han puesto el foco en el atropello como uno de los problemas a comprender, explicar y abordar.

### 6.1 Proyecto europeo Aprosys

En el proyecto europeo Aprosys, la muestra de atropellos a peatones investigados la constituyen casos procedentes de Reino Unido (BASC, TRL, VSRC), España (INSIA), Suecia (STRADA, Chalmers University) y Alemania (GIDAS) (Carter, 2006, p. 6)

Es curioso señalar la similitud básica existente en la metodología de la investigación de siniestros viales propuesta en esta tesis, en base a los trabajos del DIRAT y el ERAT de la Agrupación de Tráfico de la Guardia Civil, y la seguida por el Centro de Seguridad del Automóvil de Birmingham (*Birmingham Automotive Safety Centre, BASC*) de la Universidad de Birmingham. Los casos aportados por el BASC a Aprosys fueron seleccionados a partir de la información procedente de la oficina forense de la región de West Midlands. A partir de ahí, se recopilaron los datos procedentes de los investigadores de siniestros viales de la Policía, a esta información se añadieron datos procedentes de los registros de los hospitales y, en su caso, los informes de autopsia de la oficina regional forense, de donde además de las lesiones detalladas de la víctima se recogía como dato su talla y su peso. La diferencia se encuentra en el foco, mientras aquí es un equipo de BASC quien hace de coordinador para conseguir integrar una base de datos privada, en la propuesta realizada aquí se consigue que al existir un coordinador público la base de datos tenga este carácter.

El objetivo posterior de Aprosys era utilizar estos datos para definir en detalle los escenarios de impacto de atropellos reales y las condiciones en las cuales un subproyecto

debe considerar tanto los métodos de experimentación (maniqués, impactadores,...) como las tecnologías del sistema vehicular diseñadas para eliminar o mitigar las lesiones infligidas a los peatones. Esto se conseguía en el proyecto llevando a cabo simulaciones informáticas en las que se reconstruían las condiciones del atropello de los casos reales de la muestra para cuantificar los detalles más significativos de los impactos entre el vehículo y el cuerpo del peatón (Hardy, et al., 2007, p. 168).

El INSIA utilizó en el marco del Proyecto Aprosys tanto programas y modelos de análisis de multicuerpos como de FE, pero fue un poco más allá proponiendo una aproximación híbrida de FE-multicuerpos para simular atropellos a peatones. Primero, se desarrollaban los modelos matemáticos de los escenarios de atropello con el peatón y el vehículo utilizando modelos de elipsoides de Madymo en el peatón y un modelo detallado de vehículo. Esta metodología se muestra más precisa que las actuales simulaciones de multicuerpos, pero sin la complejidad de modelos y los requerimientos informáticos de los modelos FE (Martínez, et al., 2007, p. 1).

## **6.2 Proyecto ABIDA**

Este proyecto llevado a cabo por el Instituto Universitario de Investigación del Automóvil (INSIA) de la Universidad Politécnica de Madrid discurrió a lo largo del año 2004 con el objetivo de conseguir establecer una metodología de investigación, reconstrucción y simulación de atropellos a peatones y el establecimiento de una base de datos en profundidad sobre estos hechos (Aparicio, et al., 2005, p. 5).

La investigación se realizó en Madrid entre noviembre de 2002 y noviembre de 2004 coordinada y dirigida por el INSIA con la participación de la Policía Municipal de Madrid, el Hospital 12 de Octubre y el Servicio de Asistencia Municipal de Urgencia y Rescate (SAMUR), mientras que la reconstrucción y las simulaciones las llevó a cabo el Equipo de Biomecánica del INSIA (Aparicio Izquierdo, 2005, p. 3; Badea, et al., 2010, p. 112).

Esta investigación en profundidad recogía en detalle la información de la escena, pero también obtenía los datos de las lesiones ocasionadas a los peatones atropellados tanto en los casos fatales como en los que no tenían ese desenlace, relacionándolos con la edad y el género, que tiene una importante incidencia en el comportamiento biomecánico. Las lesiones fueron codificadas utilizando el sistema AIS y clasificadas de acuerdo con el MAIS (máximo AIS) de cada parte anatómica afectada (Guerra Casanova, 2011, p. 77).

De esta forma se consiguió una muestra total de 108 atropellos a peatones, de los cuales 94 se trataban de impactos del peatón con el frontal del vehículo (Aparicio, et al., 2005, p. 7).

A partir de esta base de datos en profundidad se han conseguido frutos en la investigación sobresalientes, tales como la realización de tesis doctorales sobre la materia (Guerra Casanova, 2011, p. 77), o seguir desarrollando la metodología empleada en proyectos internacionales, tales como Aprosys, o nacionales, como el liderado por Sernauto.

## **6.3 Proyecto IDIADA**

El objetivo del estudio fue el análisis de la seguridad de los peatones en atropellos urbanos, estudiando la influencia de la velocidad como causa del accidente así como agravante de las consecuencias del siniestro (Barrios, 2005, pp. 10-11).

La metodología utilizada constaba de los siguientes procesos realizados, simultanea o secuencialmente, para cada caso:

- Recopilación de la información. Para la realización del proyecto la Guardia Urbana de Barcelona facilitó los informes técnicos, los informes fotográficos, los planos de los escenarios, y la Agencia de Salud Pública la codificación y descripción de las lesiones de los implicados en los atropellos en la ciudad de Barcelona durante el año 2002.
- Explotación estadística. A partir de esta información se realizó la explotación estadística con la finalidad de definir aquellas características representativas de los siniestros que permitan estudiar la repetibilidad de los mismos.
- Estudio de la velocidad como causa de los atropellos. Se analizó la velocidad de circulación como causa del atropello con el objetivo de determinar qué velocidades de circulación hubiesen permitido evitarlo.
- Estudio de la velocidad como agravante de sus consecuencias. Del mismo modo se estudió la velocidad de circulación como agravante de las consecuencias del accidente con la finalidad de relacionar las velocidades de impacto con las lesiones sufridas por los implicados.
- Reconstrucción virtual y física de un accidente representativo. El estudio estadístico fue acompañado de la reconstrucción en profundidad de un caso. Para ello se seleccionó un caso representativo de la población de atropellos objeto de análisis y se llevó a cabo la reconstrucción virtual con el programa PC-Crash del siniestro vial donde se detalló la cinemática y dinámica del vehículo y la cinemática y dinámica del peatón. Esta simulación virtual fue validada con la reconstrucción física del evento a través del lanzamiento de sub-sistemas contra la estructura del vehículo mediante la DITS (*Dynamic Impact Testing System*).
- Simulación virtual y física de la secuencia del atropello a diferentes velocidades. Se llevaron a cabo la simulación virtual y reconstrucción física del mismo caso variando la velocidad del impacto. Todos estos resultados sirvieron para verificar el análisis estadístico previamente realizado.

Como resultado de la información de la Guardia Urbana se obtuvo una muestra inicial de 823 registros de atropellos a peatones, pero la Agencia de Salud solo tenía acceso a un número limitado de historiales de pacientes y por este motivo el número de casos objeto de estudio se redujo a 484 registros (Muestra Agencia). Por otro lado, la Guardia Urbana de Barcelona facilitó la distancia de frenada anterior al punto de atropello, la distancia de frenada posterior al punto de atropello, y la distancia de proyección del peatón en 93 registros (Muestra Guardia Urbana). Relacionando los datos aportados por las dos instituciones, se dispuso de 62 registros (Muestra Objeto de Estudio) donde se conocía la codificación ISS (*Injury Severity Score*) y alguna de las distancias



características del atropello. Esta muestra fue sobre la que se trabajó en el estudio de la velocidad como causa del accidente y como agravante de las consecuencias.

#### **6.4 Proyecto SERNAUTO**

Finalmente, el proyecto español realizado por los Institutos de Investigación españoles SERNAUTO, que actuó como coordinador, Centro Zaragoza, IDIADA e INSIA con la colaboración de las autoridades locales de Zaragoza, Barcelona y Madrid y que contó con una metodología común para la investigación de atropellos a peatones (Barrios, et al., 2009, p. 7).

En primer lugar se caracterizó los principales parámetros de esta tipología de accidentes, estableciendo un criterio de selección de casos. Se analizaron atropellos urbanos en los que el frontal de un turismo, monovolumen o todoterreno golpeó al peatón. La investigación en profundidad de los atropellos requirió previamente el establecimiento de unos convenios de colaboración con los Ayuntamientos y las Policías Locales de cada una de las ciudades y la creación de tres equipos de trabajo multidisciplinares que acudían al lugar del accidente y realizaban una recogida inicial de la información más perecedera de los vehículos, personas e infraestructura. (Olona, 2008 , p. 51)

Se utilizó la siguiente metodología general para el análisis completo de los casos de atropello a peatón (Barrios, et al., 2009, p. 1):

- Información sobre el escenario del siniestro.
- Descripción del siniestro.
- Croquis.
- Fotografías generales.
- Datos del peatón.
- Procesamiento y análisis de la información.
- Daños en el vehículo.
- Lesiones del peatón: descripción y mecanismo.
- Reconstrucción virtual del siniestro.
- Definición de los parámetros y perfil del vehículo.
- Modelo del peatón.
- Simulación con PC-Crash®: adherencia neumático-pavimento y velocidad de impacto.
- Fase previa al impacto con el peatón.

Uno de los objetivos del proyecto era evaluar tecnologías de percepción y ayuda a la evitabilidad del accidente, es decir tecnologías de seguridad primaria. La información recopilada ha sido utilizada para la evaluación de la efectividad de los sistemas primarios de seguridad: por un lado, el sistema de asistencia a la frenada (*Brake Assistance System, BAS*) y, por otro lado, el sistema de detección de peatones con frenado automático (Barrios, et al., 2009, p. 8).

En todos los casos analizados se comparó la secuencia temporal de lo ocurrido en la situación real con lo que habría sucedido si el vehículo hubiera dispuesto de los sistemas de seguridad activa descritos, determinando en cada caso la velocidad de atropello y la zona de impacto de la cabeza (Olona, 2008 , p. 51).

## **II. APLICACIÓN DE LA METODOLOGIA DE INVESTIGACIÓN AL ATROPELLOS A PEATONES**

Cuando se produce un siniestro vial se conforma un rompecabezas cuyas piezas hay que recopilar a través de la correspondiente investigación. Cuanto más rigurosa sea la investigación mejor será la calidad, cuantitativa y cualitativa, de la información disponible, o en otras palabras, mayor será el número de piezas. Se da, entonces, la paradoja de que una investigación más rigurosa sobre un siniestro vial, en lugar de simplificar el camino hacia las conclusiones lo hace más complicado y tortuoso. No vale solo con tener muchas piezas de información sobre el siniestro, si se tienen dispersas o se desconoce la forma de colocarlas.

En la fase de formulación de un modelo, cualquiera que sea la materia a que pretenda aplicarse, se intenta conseguir la representación de los elementos intuitivos manejados en la fase de conceptualización por medio de un lenguaje formal. MOSES es la estructura conceptual donde se deberían encajar de una forma ordenada y metódica cada una de las piezas recopiladas para poder tener una imagen nítida del siniestro vial.

MOSES ha sido definido como un modelo secuencial matricial de eventos que aplica en una escala de tiempo una sucesión de fases en las cuales se tienen en cuenta una serie de posiciones clave y eventos relevantes, entre los que sobresale el evento crítico que actúa como desencadenante de la secuencia que finaliza en el impacto, en cada uno de los cuales se determinan las acciones y condiciones de cada subsistema, para finalizar con el cálculo o estimación del riesgo que el evento, las acciones y las condiciones determinan para el conjunto del sistema vial.

Una vez finalizado el trabajo de campo y las investigaciones complementarias debería poderse extraer la información necesaria para realizar una descripción secuencial del siniestro que vincule las acciones con las evidencias físicas y los testimonios disponibles para hacer un relato coherente y lo más completo posible que permita explicar cómo sucedieron los hechos. Finalmente, se puede realizar un diagnóstico de las causas y condiciones que generaron y contribuyeron a la ocurrencia del siniestro vial

Como importante limitación de este sistema de trabajo, hay que apuntar que se trata de un método concebido para ser aplicado retrospectivamente a la ocurrencia del siniestro, por lo que debe basarse en un atestado o informe policial. El análisis de la

información debería centrarse en el estudio de las declaraciones de los conductores e implicados, los testimonios de los testigos, las evidencias materiales, el croquis y las fotografías tomadas en la escena del siniestro. Si el propio investigador policial, o un equipo directamente vinculado a esa institución, realiza la tarea de análisis de la información fruto de su pesquisa, de acuerdo con el modelo MOSES puede que los resultados alcanzados sean óptimos, desde el punto de vista de la calidad, y eficientes, desde un punto de vista económico.

El caso que se va a utilizar para mostrar de forma práctica la metodología de la investigación propuesta se trata de un atropello a una mujer de edad avanzada, ocurrido sobre las 20:25 horas del día 23 de julio de 2009 en la Avenida Reina Sofía, en la intersección con glorieta de ésta con la c/ Octavio Augusto, término Municipal y partido judicial de Mérida (Badajoz), consistente en el atropello de un peatón por el camión portacontenedores, marca Nissan, modelo Cabstar, resultando como consecuencia del mismo la peatón fallecida y daños materiales escasos en el vehículo implicado.

## **1. PROCESAMIENTO DE LA ESCENA DEL ATROPELLO**

La investigación de la escena del atropello se hizo por parte de la Policía Local de Mérida y después con carácter retrospectivo se realizó un procesamiento adicional de la misma por el DIRAT de la Agrupación de Tráfico de la Guardia Civil.

Con carácter general, un investigador de siniestros viales debería ponerse especial atención en la escena de un atropello a los siguientes aspectos:

- La determinación del punto de atropello, a través de la localización de objetos personales de la víctima, desviaciones en las huellas de frenada o variaciones en la trayectoria del vehículo.
- La Posición final de la víctima, ya que si ha sido movida o trasladada ésta posición se puede determinar por los restos de sangre.
- Los daños sobre el capó y el cristal del vehículo, para determinar su cinemática postimpacto y corroborar la forma en que se produjeron las lesiones al peatón.

Además, deben recogerse los datos genéricos de cualquier siniestro vial sobre el subsistema humano, el vehículo, la vía y el subsistema sacionormativo.

### **1.1 Datos sobre el factor humano**

En un atropello, al menos, se encuentran implicados un conductor de un vehículo y una persona que resulta impactada por él. Este supuesto más simple es el que se analiza en el caso planteado.

#### *1.1.1 Conductor del camión Nissan Cabstar*

Respecto del conductor del camión Nissan Cabstar, cabe indicar que tiene experiencia en la conducción en vehículos a motor con permiso de conducir para ese vehículo con más de 20 años de antigüedad, y conocía el trazado y características de la

vía donde se produce el atropello ya que trabaja en esta localidad y se da el caso de residir en la misma Avenida.

No se realizaron las pruebas de alcoholemia ni las de drogas.

### *1.1.2 Peatón atropellado*

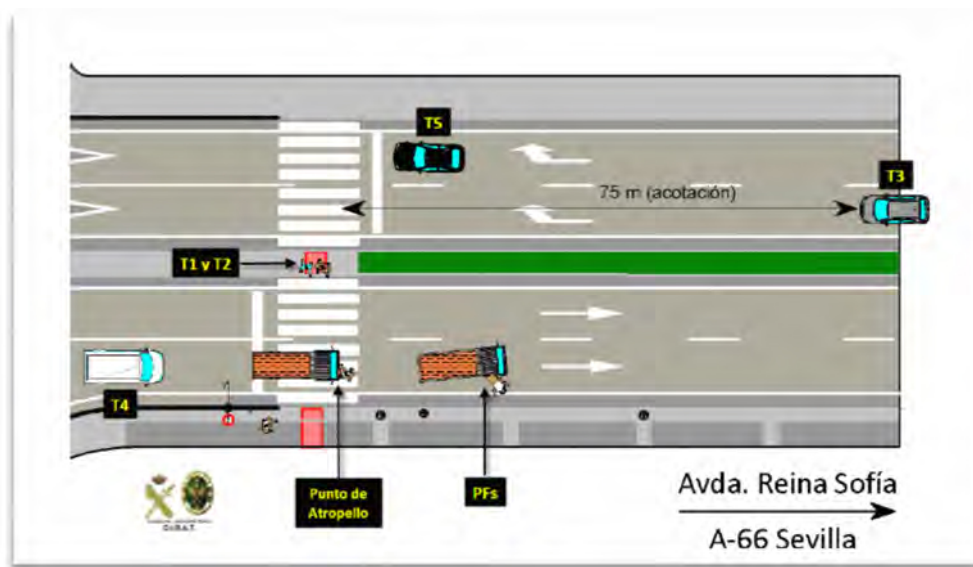
La víctima era una mujer de 76 años, con ciertos problemas de movilidad, lo cual implica una velocidad de paso inferior a la de una persona de edad media.

Se encontraba cruzando la vía de derecha a izquierda, siendo atropellada mientras daba varios pasos dentro de la calzada.

### *1.1.3 Testimonios*

En los atropellos a peatones, los testigos pueden aportar datos que permitan determinar la trayectoria preimpacto del peatón, la localización del punto de atropello y las posiciones del peatón y del vehículo en el momento del contacto. También pueden dar información sobre la velocidad previa del vehículo, el comportamiento de su conductor, su reacción, su maniobra evasiva y la distancia de parada. Si se trata de un atropello con posterior fuga pueden aportar valiosa información sobre la marca, el modelo y el color del vehículo e, incluso, su matrícula.

En este caso los testigos presenciales son cinco: dos personas (T1 y T2) que se encontraban en el refugio de la mediana de la calzada atravesando el paso de peatones en frente de donde sucedió el atropello; al conductor (T3) de un vehículo que se encontraba a unos 75 metros del lugar del siniestro circulando por el sentido contrario; el conductor (T4) de un vehículo que circulaba detrás del camión y el conductor (T5) de un vehículo que se encontraba parado en el paso de peatones, pero en el sentido contrario por haber cedido el paso a los peatones testigos T1 y T2. En la Figura 60 puede apreciarse mejor su localización.



*Figura 60: Localización relativa de los testigos*

En cuanto a los testigos citados, todos coinciden en que la velocidad del vehículo implicado no era alta, que no existió maniobra evasiva previa por parte de su conductor y que la persona atropellada se encontraba en movimiento. Existen discrepancias sobre la localización del punto de impacto al peatón durante el atropello, situándola unos dentro del paso de peatones y, otros, inmediatamente tras la finalización del mismo. Estas discrepancias tuvieron que ser aclaradas en la fase de investigaciones complementarias. Pese a que en una de las manifestaciones se afirma que la peatón llevaba muletas, este extremo no será relevante debido a que la variación de velocidad de paso respecto de la original según su edad es mínima.

El Testigo T5 cita en su manifestación la posibilidad de deslumbramiento del conductor del camión, la misma fue descartada como hipótesis en la investigación de la escena por la Policía Local y además por la aportación en la fase de investigaciones complementarias de la situación del sol en ese punto.

## **1.2 Datos sobre el vehículo**

El vehículo en el procesamiento de la escena de un atropello, aporta información sobre diversos aspectos cruciales para una correcta conclusión de la investigación:

- Un exhaustivo registro de los daños que presenta el vehículo desde el parachoques, pasando por el capó, el cristal del parabrisas y, si fuera el caso, en el techo. Además hay que buscar indicios y evidencias del contacto con el peatón en forma de fluidos, sangre, pelos u otros restos.
- El vehículo y sus neumáticos pueden aportar información sobre la maniobra evasiva, especialmente en el caso de una frenada de emergencia.

En el caso analizado además de la información rutinaria de sus características técnicas y geométricas se realizó un detallado análisis de los daños que presentaba el camión.

### *1.2.1 Datos del vehículo*

El camión presentaba ITV en vigor en el momento del accidente y por lo tanto se encontraba en condiciones técnicas adecuadas para circular.

Tabla 32: Datos técnicos del vehículo implicado en el atropello

DATOS TÉCNICOS				
Marca	Modelo		Plazas	Color
NISSAN	CABSTAR E		3	Gris
Clasificación	Tipo/Variante		Nº de Bastidor	
2012 - (20) N1 transporte mercancías MMA <= 3500 Kg. / (12) portacontenedores.	TL110.35			
Motor	Nº Cilindros/Cilindrada—P. Fiscal / KW (CV)		Tracción	
Nissan D-BD30	4/2953 — 16,82 (088,00)		Trasera	
Altura total	Anchura total	Via anterior / posterior	Longitud total	Distancia eje 1º / 2º
2300 mm	2050 mm	—/1308	5250 mm	2900 mm
Tara /Peso vacío	MMTMA	ABS	ESP	Servicio
2170 Kg	3500 Kg	Opcional	No	Privado. Mercancías propias
OTROS DATOS		Dispositivo de carga y descarga modelo JI-3000		
ITV				
Motivo última revisión	Fecha última revisión	Fecha próxima revisión	En vigor (momento acci.)	Observaciones
Periódica	15-07-2009	20-10-2009	Si	—
Según Tarjeta ITV				
6 / 195/70 R15 C103/101N				
Autorizadas: ninguna otra.				



No existen indicios, ni el desarrollo del atropello lo indica, para creer que existiera una disfunción en alguno de los elementos principales del vehículo, como pudieran ser los frenos o la dirección, entre otros, al haber existido una frenada posterior y encontrarse el mismo en una Posición Final coherente con la dirección previa que llevaba.

### 1.2.2 Daños del vehículo

El camión golpea a la persona atropellada con su parte frontal derecha, tal y como puede verse en las fotografías tomadas en la escena de los hechos:



Figura 61: Detalle de las partes del vehículo afectadas por la interacción del peatón

De acuerdo con la numeración de la Figura 61 resultaron dañados los siguientes elementos y piezas:

- A. Roce en la parte derecha del parachoques delantero a la altura del faro de la luz antiniebla.
- B. Área de deformación plástica de 0,25 metros de diámetro en la parte delantera derecha de la cabina del vehículo implicado, situada a 1 metro de altura, medido desde el suelo, y a 0,34 metros del borde delantero derecho del vehículo.
- C. Impacto en la luna delantera situado a 1,40 metros de altura, medidos desde el suelo y a 0,45 metros del borde derecho delantero del vehículo implicado.

### 1.3 Datos sobre la vía

Se trata de una vía urbana de Mérida, que fue travesía de una carretera nacional hasta que se construyó una circunvalación, y que constituye una de las principales arterias de comunicación dentro de la ciudad.

#### 1.3.1 Configuración de la vía

La plataforma estaba compuesta por dos calzadas de dos carriles para cada sentido separadas por una mediana con refugio. Se trataba de un tramo recto situado tras una intersección giratoria con una inclinación del dos por ciento descendente en el sentido de circulación del vehículo implicado. La glorieta previa al tramo en el que se desarrolla el siniestro dispone de cuatro entradas y cuatro salidas.



*Figura 62: Vista cenital (izquierda) y panorámica de la glorieta*

Los cruces entre aceras deben realizarse por pasos para peatones habilitados en las proximidades de la glorieta, existiendo vallado que impide el acceso a la glorieta y obligando a tener que hacerlo como mínimo hasta el paso para peatones.





*Figura 63: Lugar de la vía donde tuvo lugar el atropello*

La configuración de la vía, en glorieta no permite altas velocidades de paso, máxime tratándose de un vehículo pesado, y aún se reduce más esta posibilidad por la existencia de tráfico denso.

### *1.3.2 Datos geométricos*

Con carácter previo al tramo recto donde se encuentra situado el paso de peatones hay una glorieta de amplio radio de giro que cuenta con tres carriles en su interior.

A la salida de la glorieta se enlaza con un tramo de vía recto.

El paso de peatones se encuentra encauzado por barandillas alrededor de la glorieta entre los pasos para peatones sucesivos.

A la altura del paso de peatones la vía, en el sentido afectado, tenía la siguiente configuración:

- Acera: 2,37 m.
- Arcén derecho: 0,83 m.
- Carril derecho: 3,38 m.
- Carril izquierdo: 3,18 m.
- Arcén izquierdo: 0,83 m.

En el centro de la vía, como divisoria entre los dos sentidos de circulación, existe un refugio para peatones.

### *1.3.3 Datos de la superficie*

El Firme era una mezcla asfáltica en buen estado de conservación y rodadura, con una superficie seca y limpia de sustancias deslizantes.

### *1.3.4 Visibilidad*

El suceso ocurrió a las 20'25 horas del jueves 23 de julio, en pleno día y con circulación de tráfico densa.

El día de los hechos había buenas condiciones meteorológicas y en el momento del atropello la luminosidad era buena ya que era de día.

En cuanto a la hipótesis de la existencia de deslumbramiento resulta descartada a través de los datos sobre la salida y la puesta de sol ofrecidos por el Instituto Geográfico Nacional.

El documento es una tabla de datos sobre la salida y puesta de sol para el día 23 de julio de 2009. La tabla está organizada en columnas que representan diferentes localidades. Una de las columnas, correspondiente a Mérida, está resaltada con un recuadro rojo y contiene la siguiente información: **Salida** 21:47h. El encabezado de la tabla indica que los datos corresponden al día 23 de julio de 2009.

Figura 64: Salida y puesta de sol en Mérida

### 1.3.5 Estudio de las huellas, vestigios y evidencias

Según consta en las diligencias instruidas por la Policía Local, no se hallaron huellas del vehículo en el lugar del accidente.

En cambio se observó y registró una mancha de sangre perteneciente a la persona atropellada situada en el carril derecho de los de sentido A-66 (Gijón – Sevilla), a la altura del frontal del camión en su Posición Final.



Figura 65: Restos de sangre de la víctima

A la vista de la fotografía tomada en la escena de los hechos en el momento del siniestro vial se aprecia que la mancha se origina aproximadamente sobre la línea de separación entre el arcén y el carril derecho y que como consecuencia del bombeo de la vía la sangre fluye hacia el bordillo derecho de la acera.

#### 1.3.6 Posiciones finales del vehículo y el peatón

El origen del sistema de coordenadas cartesianas tomado por la Policía Local de Mérida fue el punto fijo constituido por el poste de la señal vertical S-13, situación de un paso para peatones.

Los ejes del camión en su posición final se encontraban en las siguientes coordenadas, expresadas en metros:

EJES DEL VEHÍCULO	IZQUIERDO	DERECHO
DELANTERO	16,00m – 3,9 m	16,06m – 1,9 m
TRASERO	13,05m – 3,7 m	13,12m – 1,7 m

La peatón atropellada quedó en posición decúbito prono sobre el carril derecho de sentido Badajoz, encontrándose su cabeza en las coordenadas (16'78m, 0'93m).

### 1.4 Datos sobre el subsistema sacionormativo

La limitación genérica de velocidad, según la vía urbana por la que circulaba, para el camión portacontenedores Nissan Cabstar es de 50 km/h, de acuerdo con lo dispuesto en el apartado 1º del artículo 50 del Reglamento General de Circulación (*RGCir.*).

Respecto de la vía, la señalización vertical y horizontal era la correcta, estando bien indicado el paso para peatones y no existiendo contradicciones entre señales.

La señalización vertical existente en la vía es la siguiente:



Tabla 33: Señalización vertical

Nom	SIGNIFICADO	GRAFICO	IMAGEN
P-4	Intersección con circulación giratoria. (art. 149 RGCir) Peligro por la proximidad de una intersección donde la circulación se efectúa de forma giratoria en el sentido de las flechas. Situada a mitad de tramo entre la glorieta del atropello y la previa.		
S-13	Situación de un paso para peatones. (Art. 159 RGCir) Indica la situación de un paso para peatones. Situada en el paso para peatones previo a la glorieta.		
R-1	Ceda el paso. (Art. 151 RGCir) Obligación para todo conductor de ceder el paso en la próxima intersección a los vehículos que circulen por la vía a la que se aproxime o al carril que pretende incorporarse. Situada a la entrada en la glorieta.		
R-402	Intersección de sentido giratorio-obligatorio. (Art. 155 RGCir) Las flechas señalan la dirección y sentido del movimiento giratorio que los vehículos deben seguir. Situadas dentro de la glorieta, visibles desde todos los accesos.		
S-13	Situación de un paso para peatones. (Art. 159 RGCir). Indica la situación de un paso para peatones. Situada en el inicio del paso para peatones posterior a la glorieta.		

La señalización horizontal existente comienza en el tramo previo a la glorieta, donde existen sendas señales de ceda el paso en los carriles de dicha vía.

En el tramo recto posterior a la glorieta existía la siguiente señalización horizontal:

- Líneas de borde delimitando el borde de calzada.
- Marca blanca longitudinal continua delimitando los dos carriles.
- Marca transversal continua de detención.
- Marca de paso para peatones.

## 2. FUENTES DE INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA

La información complementaria necesaria para la investigación puede conseguirse, bien en la escena de los hechos, simultáneamente o con posterioridad, a la Inspección Técnico-Ocular, o bien su obtención se puede posponer en la secuencia metodológica de la investigación. Las fuentes pueden ser tanto inanimadas (bases de datos, documentación técnica, literatura científica,..), como personales (conductor, laboratorio, testigos, expertos,..).

### 2.1 Subsistema humano

En este caso se trata, como se ha desarrollado teóricamente en el Capítulo III, de ahondar en los testimonios de los testigos, dejar un registro lo más detallado posible de las lesiones de la víctima y, si fuese posible, obtener los datos sobre el estado físico y psíquico del conductor.

#### 2.1.1 Testimonios adicionales

Se solicitó a una Unidad de Atestados de un Subsector de Tráfico de la Guardia Civil de Andalucía apoyo en las investigaciones complementarias llevadas a cabo por el DIRAT, consistente en la nueva toma de declaración de dos testigos del atropello (T1 y T2). Se les pidió que, de acuerdo con su posición en el momento del atropello, declarasen cual era el punto por el que cruzaba la víctima, para lo cual se situaron tres puntos con diferentes colores.

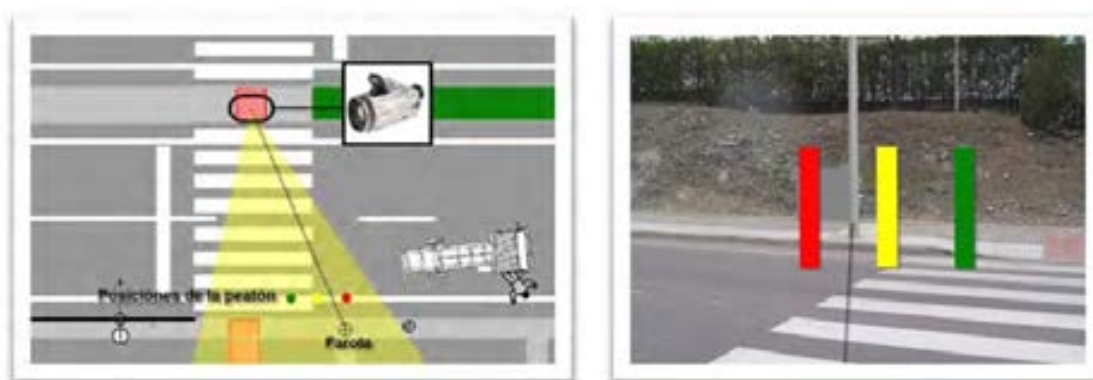


Figura 66: gráficos utilizados en la declaración de los testigos

Ambos testigos, T1 y T2, dijeron que la víctima cruzaba la vía por el lugar señalado con color verde en el interior del paso de peatones.

#### 2.1.2 Lesiones

Las lesiones de la víctima, ya haya resultado herida o muerta, ayudan al investigador a comprender como se produjo el atropello, permitiendo establecer la posición en la que se encontraba el peatón en el momento del impacto y las partes de su cuerpo que impactaron con la calzada o el suelo.

En este caso se trataba de una mujer de 76 años, 1,60 de altura y un peso no determinado que resultó muerta a consecuencia de las lesiones.

Las lesiones que presentaba la víctima eran las siguientes:



*Figura 67: Representación gráfica de las lesiones sufridas por la persona atropellada.*

Los números contenidos en el gráfico se corresponden con las siguientes lesiones:

1. Herida suturada en ceja izquierda de 2 cm.
2. Hematoma parpebral y ocular izquierdo.
3. Dos excoriaciones fronto-orbitarias en la órbita derecha.
4. Epistaxis y otorragia derecha.
5. Hematoma en tercio medio cara externa brazo izquierdo.
6. Hematoma en cara externa rodilla izquierda.
7. Hematoma en cara interna rodilla derecha.
8. Hematoma en raíz muslo izquierdo.
9. Hematoma en cara interna tobillo derecho.
10. Excoriaciones en ambas rodillas.
11. Gran hematoma craneal.
12. Amplia fractura del temporal derecho.
13. Fractura del occipital.
14. Fractura del temporal izquierdo.
15. Fractura de la base del cráneo.
16. Fractura de clavícula izquierda.
17. Fractura de la parrilla costal izquierda (de 1ª a 5ª).
18. Fractura costal derecha (2ª y 3ª).
19. Hemotórax bilateral.
20. Rotura esplénica y contusión pancreática.

Considerando las lesiones en las rodillas consistentes en un hematoma en la cara externa de la izquierda (6) y en la interna de la derecha (7), se puede determinar que efectivamente la persona se encontraba en movimiento, con la pierna derecha adelantada respecto a la izquierda. Su tronco estaría, por tanto, rotado ligeramente hacia su izquierda. Se aprecia que la mayor lesividad, descartando la cabeza, se localiza en la mitad izquierda del cuerpo del peatón atropellado.



Las lesiones pueden clasificarse y codificarse para poder ser posteriormente integradas en una base de datos y analizadas en el conjunto de la muestra.

Tabla 34: Clasificación de las lesiones y su codificación AIS

Nº	DESCRIPCIÓN	REGIÓN	CODIGO
1.	Herida suturada en ceja izquierda de 2 cm	Cabeza	AIS1
2.	Hematoma parpebral y ocular izquierdo	Cabeza	AIS1
3.	Dos excoriaciones fronto-orbitarias en la órbita derecha	Cabeza	AIS1
4.	Epistaxis y otorragia derecha	Cabeza	AIS3
11.	Gran hematoma craneal	Cabeza	AIS5
12.	Amplia fractura del temporal derecho	Cabeza	AIS3
13.	Fractura del occipital	Cabeza	AIS3
14.	Fractura del temporal izquierdo	Cabeza	AIS3
15.	Fractura de la base del cráneo	Cabeza	AIS3
5.	Hematoma en tercio medio cara externa brazo izquierdo	Ext. superior	AIS1
16.	Fractura de clavícula izquierda	Tórax	AIS3
17.	Fractura de la parrilla costal izquierda (de 1ª a 5ª)	Tórax	AIS4
18.	Fractura costal derecha (2ª y 3ª)	Tórax	AIS4
19.	Hemotórax bilateral	Tórax	AIS5
20.	Rotura esplénica y contusión pancreática	Abdomen	AIS3
8.	Hematoma en raíz muslo izquierdo	Ext. inferior	AIS1
6.	Hematoma en cara externa rodilla izquierda	Ext. inferior	AIS1
7.	Hematoma en cara interna rodilla derecha	Ext. inferior	AIS1
9.	Hematoma en cara interna tobillo derecho	Ext. inferior	AIS1
10.	Excoriaciones en ambas rodillas	Ext. inferior	AIS1

## 2.2 Subsistema de la vía

Si en el procesamiento de la escena primaba el levantamiento y registro de las evidencias, especialmente las volátiles, en las investigaciones adicionales se pretenden obtener datos que permitan realizar un croquis detallado de la vía, así como un mejor entendimiento de la interacción dinámica de sus circunstancias en la capacidad de percepción del conductor y del peatón.

### 2.2.1 Croquis de la vía

El entorno gráfico de la escena debe ser levantado, con gran fidelidad, a partir de las medidas tomadas en la escena y los datos complementarios sobre la vía obtenidos. Resulta, por lo tanto, imprescindible realizar un buen trabajo de campo en la *Inspección Técnico Ocular Policial* y obtener como resultado de la misma un croquis, a escala, en el que se pueda incluir un desarrollo explicativo de los hechos en 2D.





Figura 68: Croquis 2D de la escena del atropello

En la Figura 68 puede observarse el croquis realizado por el DIRAT, con los datos disponibles del procesamiento de la escena y las investigaciones y mediciones adicionales propias. Se incluye en el croquis la situación de los testigos en el momento del atropello.

### 2.2.2 Grabación en video del recorrido del camión

Cuando en la fase de aplicación de MOSES los investigadores intentan determinar las posiciones en las cuales los principales implicados, en este caso conductor y peatón, debían haber observado un peligro o una situación anómala y haber reaccionado a la misma lo hacen en base a fotografías estáticas o croquis en dos dimensiones. Esta carencia puede ser superada mediante la utilización de grabaciones dinámicas realizadas en circunstancias meteorológicas, luminosas y de tráfico de la vía semejantes a las existentes en el momento del siniestro vial.

En el atropello investigado, la grabación en video del recorrido del camión se realizó el mismo día que se ejecutaron las pruebas de frenada con el propio vehículo implicado, a la misma velocidad que se había estimado, en los primeros cálculos realizados. Varios fotogramas de esta grabación se utilizan para ilustran los resultados y la conclusiones de la investigación.

### 2.2.3 Visibilidad

De la grabación en video y de las pruebas de frenada realizada se observa que el paso de peatones se encuentra delimitado por barandillas alrededor de la glorieta entre los pasos para peatones de las sucesivas salidas. Para el conductor de un vehículo que sale de la glorieta, la visibilidad de un peatón en la acera derecha se encuentra reducida por obstáculos tales como la barandilla, una farola, una señal de información y la señal de paso para peatones.



Figura 69: Visibilidad en el lugar de atropello desde la perspectiva del conductor del camión

En la Figura 69 hay situados dos peatones, en la fotografía de la izquierda se aprecia a una persona con una prenda reflectante, a pesar de los obstáculos, mientras que en la fotografía de la derecha el peatón que está justo delante del paso de peatones resulta muy difícil de ver.

## 2.3 Subsistema vehículo

Las investigaciones adicionales sobre el vehículo deben ir encaminadas a ampliar el conocimiento disponible sobre sus características técnicas, geométricas y gráficas, así como a la realización de las pruebas de frenada encaminadas a la determinación de la deceleración y a las mediciones adicionales en el caso de los atropellos.

### 2.3.1 Datos técnicos completos

Con respecto al vehículo, es necesario consultar los datos disponibles sobre el vehículo o vehículos implicados en el Registro de Vehículos de la Dirección General de Tráfico, Ministerio del Interior. Los datos disponibles, especialmente los de índole técnica, son limitados, por lo que resulta necesario acudir a bases de datos más completas en las que consultar las características técnicas del vehículo implicado, ya sean de naturaleza pública (ITV, NHTSA, Canadian Vehicles Specifications CVS,..) o privada.

En el caso analizado se ha consultado la base de datos del programa PC-Crash que es bastante completa.

Vehicle data	
<div> <div>Fuerza frenada trasera</div> <div>Vehicle Shape</div> <div>Geometría vehículo</div> </div> <div> <div>Input parameters</div> <div>Suspension</div> </div> <div> <div>Resultados</div> <div>Stability control</div> <div>Outcomes y carga</div> </div>	
<div> <div>NISSAN CABSTAR</div> <div>Tipo</div> <div>Camión</div> </div> <div> <div>NISSAN VLD NISSAN C</div> <div>Total peso</div> <div>2207 kg</div> </div>	
<div>Conductor</div> <div>Nº de snc</div> <div>Longitud</div> <div>Anchura</div> <div>Altura</div>	<div>Distancia de CG desde eje</div> <div>Altura CG</div> <div>SG (m)</div> <div>Z</div> <div>Rotación</div> <div>Balancos</div>
<div>Velocidad</div> <div>Via - Eje 1</div> <div>Via - Eje 2</div>	<div>SG (m)</div> <div>Z</div> <div>Rotación</div> <div>Balancos</div> <div>SG (m)</div> <div>Z</div>
<div>Velocidad</div> <div>Via - Eje 1</div> <div>Via - Eje 2</div>	<div>SG (m)</div> <div>Z</div> <div>Rotación</div> <div>Balancos</div> <div>SG (m)</div> <div>Z</div>
<div> <div>Aceptar</div> <div>Cancelar</div> </div>	

Figura 70: Información del Nissan Cabstar 35/110 en la base de datos de PC-Crash

Además, en el catálogo de la marca se ofrece la siguiente ficha técnica.

# Tipper

		Single Cab		Double Cab		
		SWB	MWB	MWB	LWB	
		34.12	35.14	35.14	35.14	35.15
WB	Wheelbase	2,500	2,900	2,900	3,400	
Wc	Body width	1,900		1,900		
MW	Cabin width inc mirrors	2,265		2,265		
CW	Cabin width exc mirrors	1,870		1,870		
Foh	Front overhang	1,063		1,063		
RoH	Rear overhang	1,337	1,300	1,400		
LT	Overall length	4,899	5,262	5,362	5,862	
IC	Front axle to rear body	687	700	1,630		
LC	Body length	3,150	3,500	2,650	3,200	

IQ2	Body height	400		400		
IE3	Load bed to floor height	920	950	950		
RW	Rear axle width	1,730	1,808	1,808	1,808	1,806
VD	Front track	1,586	1,573	1,573		
VT	Rear track	1,518	1,396	1,396	1,396	1,394
H1	Height (unladen)	2,122	2,116	2,116		

All figures mm

Gross Vehicle Weight	3,400	3,500	3,500			
Kerb Weight	2,230	2,271	2,273	2,395	2,435	2,518
Payload	1,170	1,229	1,227	1,105	1,065	982
Gross Train weight	5,400	7,000		7,000		

All figures kg

The side view diagram shows a tipper truck with the following dimensions labeled: HT (height to top of cab), IC (wheelbase), LC (body length), WB (wheelbase), Foh (front overhang), RoH (rear overhang), LT (overall length), H2 (height to top of body), and H3 (height to bottom of body). The front view diagram shows the truck from the front with the following dimensions labeled: MW (mirror width), Wc (cabin width), CW (cabin width), VD (front track), VT (rear track), and RW (rear wheel width).

Figura 71: Ficha técnica del vehículo

Finalmente, también, facilita el trabajo preparatorio de la simulación informática el disponer de gráficos del vehículo en 2D y en 3D. Además en este tipo de siniestros es importante realizar la simulación con un sistema gráfico del vehículo tridimensional que sea fiel reflejo de la realidad, en caso contrario la simulación no tendría el nivel adecuado de fiabilidad.



*Figura 72: Modelo 3D de un Nissan Cabstar*

En diversas páginas web, generalmente mediante suscripción o pago, se pueden encontrar la mayoría de los modelos de vehículos que se tienen que utilizar posteriormente en las reconstrucciones con programas informáticos.

### *2.3.2 Mediciones adicionales*

Los datos relativos a las dimensiones del vehículo y a la localización de los daños, se deben obtener mediante la cumplimentación de un protocolo de toma de medidas, tal y como aparece en la figura abajo inserta, pues la configuración del frontal influye de manera significativa en el comportamiento general de la dinámica del peatón, sin olvidar la altura y peso del cuerpo del viandante.



*Figura 73: Esquema general de medidas del frontal de un vehículo*

Una medida a tomar en el vehículo es la Distancia *WAD*, que se define como la distancia geoméricamente trazada desde el punto de contacto de la cabeza del peatón sobre el frontal del vehículo hasta el plano de referencia del suelo, verticalmente cayendo por la cara frontal del paragolpes. Se mide con una cinta flexible.



Figura 74: Esquema de toma de medida de la WAD.

El borde anterior del capó (*Bonnet Leading Edge, BLE*) es útil como referencia en investigaciones en profundidad sobre el diseño del vehículo y algunos modelos matemáticos de cálculo de la velocidad de impacto.



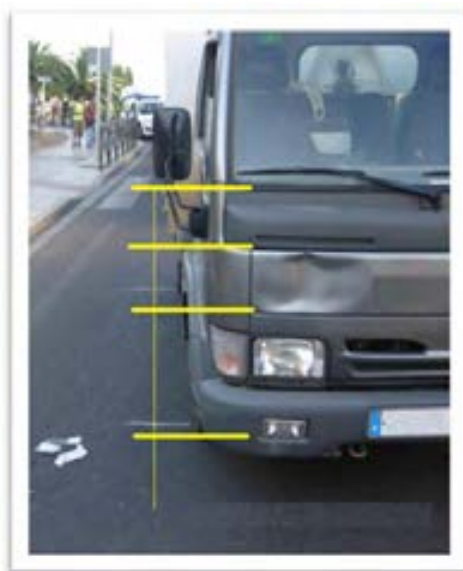
Figura 75: Situación del borde del capó (BLE)

También es necesario tomar la medida del desplazamiento lateral desde el primer impacto en el parachoques con la pierna y el impacto de la cabeza, incluso si hubiese otro contacto intermedio. Esta medición sirve para hacerse a la idea de la velocidad de desplazamiento del peatón.



*Figura 76: Toma de medida del desplazamiento lateral*

Las mediciones en el caso de un vehículo pesado o en uno de frontal alto son ligeramente diferente a las de los turismos. En la fotografía inferior pueden observarse las mediciones de los daños observados en el frontal del camión para hacer su confrontación con las lesiones observadas en la víctima.



*Figura 77: Mediciones de los daños en el frontal del camión*

### *2.3.3 Pruebas de frenado y deceleración con el vehículo*

Para la concreción del coeficiente de rozamiento de los neumáticos del camión Nissan Cabstar y para realizar una evaluación de la deceleración que este vehículo pudo haber alcanzado el día del atropello, se realizaron una serie de pruebas de frenado en el lugar de los hechos con el camión implicado en los mismos. Estos ensayos se realizaron con un acelerómetro de la marca Vericom modelo VC300.





Figura 78: Acelerómetro utilizado en los ensayos de frenada

Se realizaron ocho ensayos con el mismo recorrido que llevaba el camión el día del siniestro y se activaron los frenos en el POI determinado en el paso de peatones con la intensidad necesaria para detener el camión en su posición final real.

Tabla 35: Datos de las pruebas de frenada

Prueba de frenada n°	Tiempo Frenada (s)	Deceleración (g)	Velocidad (Km/h)	Distancia frenada (m)	Aceleración Lateral (g)
59	1,76	-0,415	25,78	6,15	-0,024
60	3,42	-0,173	20,94	12,87	-0,051
61	1,91	-0,497	33,49	10,43	-0,056
62	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
63	2,54	-0,468	41,97	15,5	-0,009
64	0,16	-0,007	0,04	0,00	0,260
65	1,95	-0,614	42,30	13,22	-0,079
66	1,96	-0,557	38,52	11,31	-0,075
MEDIA	2,26	-0,454	33,83	11,58	-0,049

Se descartaron las pruebas número 62 y 64 para obtener los valores medios, ya que en estas pruebas el aparato al dar la curva de la glorieta se desactivó y dejó de registrar mediciones. De los datos que contiene la Tabla 35 se deduce que para una frenada similar a la que realizó el camión en el momento del atropello su coeficiente medio de rozamiento ( $\mu_v$ ) tenía un valor de 0,454.

### 3. RECONSTRUCCIÓN TÉCNICA MEDIANTE LA APLICACIÓN DE MOSES

La reconstrucción de los hechos de la circulación como una fase, eminentemente técnica, incardinada en el proceso intelectual de la investigación, consiste en la elaboración de una teoría contrastada con las evidencias y los datos materiales disponibles que explique secuencialmente el desarrollo espacio-temporal del suceso, para todas las unidades de tráfico y personas participantes, de acuerdo con las leyes físicas mediante modelos matemáticos corregidos experimentalmente para minimizar el error cometido.



En primer lugar, se tiene que analizar las acciones, de cada uno de los actores y los subsistemas de tráfico, en cada una de las fases de la evolución del siniestro vial correspondiente a cada uno de los vehículos implicados. Después hay que determinar tanto el punto de impacto como las posiciones de los vehículos y las personas en el momento del impacto. Un paso crucial en este proceso es la determinación del evento crítico. A partir de las evidencias y datos disponibles se tiene que realizar un cálculo de la velocidad de los vehículos en el momento del impacto. Aquí tiene su entrada la reconstrucción secuencial cinemática del siniestro llevada a cabo según los procedimientos físico-matemáticos disponibles para el investigador, y la fijación de las posiciones clave de los vehículos y las personas a lo largo del proceso que desemboca en la ocurrencia del siniestro vial.

Para lograr una comprensión, cuantitativa y cualitativa, de las diferentes fases del siniestro vial, los expertos rellenan una tabla, donde se puede interpretar tanto la situación en la que se encuentra el conductor como su posible reacción ante un peligro o una situación anómala, vinculándolo todo a una escala de tiempo.

Comprender la secuencia de hechos, tanto el impacto inicial como los subsiguientes contactos que se desarrollan posteriormente, es un importante paso en un adecuado y constructivo análisis de un accidente de tráfico en el que se encuentra implicado un peatón, tal y como se hubiera analizado cualquier otra colisión de vehículos de motor. Sin embargo, el atropello a peatón como siniestro vial no es fácil de comprender en su conjunto. Las evidencias físicas evaluables no son a menudo documentadas adecuadamente en los atropellos comparándolas con otros tipos de accidentes.

Los investigadores y reconstructores de accidentes de tráfico caen, habitualmente, en la trampa de intentar hacer los atropellos a peatones excesivamente simples y, como resultado, de este planteamiento su análisis sufre las consecuencias. Naturalmente, buscar complicaciones en un atropello es otra equivocación, porque mediante la comprensión de la típica secuencia de eventos en este tipo de accidentes, uno puede generalmente evitar estas dificultades. En la mayoría de los casos la secuencia de eventos en un atropello sigue un patrón o está dentro de un conjunto ordenado de hechos. Solo en circunstancias inusuales podría variarse este orden determinado de una forma significativa.

### **3.1 Determinación de la localización del Punto de Impacto**

La peatón se encontraba caminando por la acera derecha cuando en un momento determinado decidió cruzar la vía. El cruce no podía realizarse antes del paso para peatones existente por la presencia de una valla que impide el acceso a la vía.

A través del testimonio adicional de dos testigos se ha llegado a la conclusión que el POI se encuentra a la altura del rebaje de la acera dentro del paso de peatones, tal y como aparece señalado en verde en la Figura 79.



*Figura 79: Lugar del atropello (POI)*

El número de pasos que la víctima ha podido dar dentro del paso de peatones vendrá determinado por las posiciones de impacto, la trayectoria del vehículo y por su posición final.

Su situación está a medio metro de la finalización de la señalización horizontal de paso de peatones y a 1,5 metros de la acera. Se encuentra situado a 9,28 metros de donde quedó finalmente tendida la persona atropellada y a 8,56 metros de la posición final del camión.

### **3.2 Posiciones en el impacto**

El camión golpea con su parte frontal derecha a la víctima en tres zonas: con el paragolpes en ambas piernas a la altura de las rodillas, con el capó en el costado izquierdo de su cuerpo, lo que le produjo grandes lesiones internas, y finalmente con la zona inferior derecha del parabrisas en la cabeza.



*Figura 80: Posiciones del vehículo y del peatón en el momento del impacto*

### **3.3 Estimación de las velocidades de atropello**

Se puede clasificar, a priori, este atropello como frontal. Teniendo en cuenta la configuración plana del frontal del camión y dada la importante diferencia de masas la biodinámica postimpacto presenta un patrón y una trayectoria de proyección horizontal.

La altura del centro de gravedad ( $h_0$ ) de la mujer atropellada puede ser situada en 0,96 m, tomando como referencia el 60 % de su altura total, que sería 1,60 m según consta en el informe de autopsia.

La Distancia de proyección horizontal total (S) a la cual es lanzado el cuerpo del peatón es 9,28 metros. Hay que hacer constar que la medición realizada se hace sobre el centro de gravedad del peatón, teniendo en cuenta el croquis realizado por la Policía Local, ya que la medición realizada, en principio, fue a la cabeza.

El coeficiente de rozamiento del peatón ( $\mu_p$ ), de acuerdo con el rango utilizado por Searle, se sitúa en un valor de 0,6, mientras que el coeficiente de rozamiento de los neumáticos del vehículo ( $\mu_v$ ), se determinó experimentalmente en 0,454.

### 3.3.1 Modelos físico-matemáticos

De acuerdo con los dos modelos de proyección horizontal tratados anteriormente, utilizando la Ecuación 17 (Collins) y Ecuación 20 (Eubanks), la velocidad de proyección del peatón sería:

$$v_p = 29,39 \text{ km/h}$$

Y aplicando una Eficacia de la Proyección del 90 %, en función de lo expuesto en la parte teórica de este Capítulo, la velocidad de atropello del vehículo sería:

$$v_v = 32,65 \text{ km/h}$$

Aplicando como primera aproximación la Ecuación 21 (Hague), se puede obtener un límite superior para la velocidad de circulación del vehículo:

$$v_v \text{ limite superior} = 46,66 \text{ km/h}$$

Esta fórmula sobreestima la velocidad de circulación del vehículo, pero sirve para establecer una velocidad superior de circulación a partir de la cual el vehículo no podría estar circulando.

En este sentido puede decirse que la prueba de frenada núm. 65 realizada con el vehículo a una velocidad de 42,30 Km/h necesitó 1,95 segundos y 13,22 metros para detener completamente el vehículo, con un importante aporte de ruido y con una huella de frenada visible en la calzada de 7,6 metros. En el caso real que se investiga ni el vehículo disponía de 13,22 metros para la frenada, ni dejó una huella visible de frenada, ni los testigos escucharon una elevación del ruido del tráfico achacable a la frenada, por lo tanto debería circular por debajo de esa velocidad.

En conclusión puede afirmarse que la primera estimación teórica por los modelos físicos de la velocidad de impacto del vehículo se sitúa en 32,65 Km/h con un límite máximo superior de esa velocidad que se ha situado en 46,66 Km/h.

Tabla 36: Hoja de cálculo Excel con los resultados de los modelos físicos de proyección horizontal

### MODELOS DE PROYECCIÓN HORIZONTAL

#### Datos de Entrada

Coefficiente de rozamiento peatón	$\mu_p$	0,6
Altura total del peatón	$h_p$	1,6 m
Distancia total de proyección del peatón	S	9,28 m
Eficacia de la proyección	EP	90,00%

#### MODELO COLLINS-FRICKE

(Collins, 1979; Fricke & Baker, 1990, pp. 77-11)

#### Datos intermedios

Altura del cdg	$h_0$	-0,96 m	$d_f = (2\mu_p h_0) - 2h_0 \sqrt{\mu_p^2 - (\mu_p S / h_0)}$
Distancia de caída	$d_f$	3,61 m	
Distancia de deslizamiento	$d_s$	5,67 m	

$$S = d_f + d_s$$

#### Datos de salida

Velocidad de caída	$v_{pf}$	8,16 m/s	$v_{p\text{ caída}} = d_f \sqrt{\frac{-g}{2h_0}}$
Velocidad de deslizamiento	$v_{ps}$	8,16 m/s	

$$v_{p\text{ deslizamiento}} = \sqrt{2\mu_p g d_s}$$

Velocidad del peatón	$v_p$	29,39 Km/h
Velocidad del vehículo	$v_v$	32,65 Km/h

#### MODELO EUBANKS

(Eubanks & Haight, 1992, p. 46).

#### Datos intermedios

Altura del cdg del peatón	$h_0$	0,96 m
Coefficiente a	a	0,09
Coefficiente b	b	0,44
Coefficiente c	c	-9,28

$$a = \frac{1}{2\mu_p g}$$

$$b = \sqrt{\frac{2h_0}{g}}$$

$$c = -S$$

#### Datos de salida

Velocidad del peatón	$v_p$	8,16 m/s	$v_p = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$

$$v_p = (-\mu_p)(\sqrt{2gh_0} - \sqrt{2gh_0 + \frac{2gS}{\mu_p}})$$

Velocidad del peatón	$v_p$	29,39 Km/h
Velocidad del vehículo	$v_v$	32,65 Km/h

#### MODELO DE HAGUE

(Hague, 2001, p. 102)

#### Datos de salida

Velocidad límite superior del vehículo	$v_v \text{ superior}$	13,05 m/s	46,98 Km/h
--	------------------------	-----------	------------

$$v_{\text{máxima}} = \sqrt{2\mu_p g S + \mu_p \sqrt{2gh_0}}$$

### 3.3.2 Modelo estadístico

Si se parte de los mismos datos de entrada, pero se aplica la Ecuación 38 y la Ecuación 39 del Modelo de Fugger para superficies secas, se obtendrá una velocidad mínima y máxima, respectivamente:

$$v_{v\_minima} = 25,30 \text{ km/h}$$

$$v_{v\_máxima} = 39,69 \text{ km/h}$$

En el mismo modelo, la Ecuación 42 ofrece un valor ajustado a la curva de regresión contenido dentro del rango anterior.

$$v_{v\_regresion} = 31,63 \text{ km/h}$$

De la misma forma si se realiza idéntica operación con el modelo de Toor y se aplica la Ecuación 36 y la Ecuación 37 se obtienen dos valores de la velocidad de impacto del vehículo.

$$v_v = 34,12 \text{ km/h}$$

$$v_v = 32,11 \text{ km/h}$$

El modelo más veterano, correspondiente a Appel, a través de la Ecuación 33 ofrece el valor de la velocidad de un vehículo de frontal recto al atropellar a una persona adulta.

$$v_{v\_frontal} = 37,84 \text{ km/h}$$

Finalmente, el modelo de Wood permite que con la aplicación de la Ecuación 44 obtener diversos rangos de velocidades en función de la probabilidad de que la velocidad del vehículo realmente se encuentre dentro de ese intervalo. Se toman tan solo las velocidades probables inferior y superior.

$$v_{v\_probable\_minima} = 34,06 \text{ km/h}$$

$$v_{v\_probable\_máxima} = 37,37 \text{ km/h}$$

En este modelo la velocidad media del vehículo en el impacto sería:

$$v_{v\_media} = 35,18 \text{ km/h}$$

Del análisis de los datos obtenidos se puede afirmar que la estimación estadística de velocidad de circulación se puede expresar como 35,18 Km con un margen de error de  $\pm 11 \text{ km/h}$ .

Tabla 37: Hoja de cálculo Excel con los resultados de los modelos estadísticos de proyección horizontal

## RESUMEN MODELOS ESTADÍSTICOS

### Datos de Entrada

Coefficiente de rozamiento peatón	$\mu_p$	0,6	
Altura total del peatón	$h_p$	1,6	m
Distancia total proyección peatón	S	9,28	m
Eficacia de la proyección	EP	90,00%	

### Datos intermedios

Altura del CdG del peatón	$h_0$	0,96	m
---------------------------	-------	------	---

### MODELO DE SIMMS-WOOD

(Wood, et al., 2004, p. 222)

#### Datos de salida

	ADULTOS	NIÑOS
<b>Vv Probable inferior</b>	<b>34,06 Km/h</b>	31,53 Km/h
<b>Vv Probable superior</b>	<b>37,37 Km/h</b>	36,63 Km/h
Vv Normal inferior	27,14 Km/h	26,40 Km/h
Vv Normal superior	42,12 Km/h	40,64 Km/h
Vv General inferior	22,74 Km/h	22,00 Km/h
Vv General superior	46,13 Km/h	44,65 Km/h
<b>Vv Media</b>	<b>35,18 Km/h</b>	

$$v_v = A\sqrt{S} + B$$

### MODELO DE APPEL

#### Datos de salida

<b>Velocidad vehículo frontal recto</b>	$V_v$	<b>37,84 Km/h</b>
Velocidad vehículo atropella niño	$V_v$	36,97 Km/h

$$V_{\text{peaton}} = \sqrt{\frac{S}{0,084}}$$

$$V_{\text{auto}} = \sqrt{\frac{S}{0,088}}$$

### MODELO DE TOOR

(Happer, et al., 2000, p. 6)

(Toor, et al., 2002, p. 8).

#### Datos de salida

(Toor & Araszewski, 2003, p. 121)

Velocidad vehículo modelo 2000	$V_v$	34,33 Km/h
Velocidad vehículo modelo 2002	$V_v$	34,12 Km/h
Velocidad vehículo modelo 2003	$V_v$	32,11 Km/h

$$v_v = 11,4\sqrt{S} - 0,4$$

$$v_v = 11,3\sqrt{S} - 0,3$$

$$v_v = 8,25 S^{0,61}$$

### MODELO DE FUGGER

(Fugger, et al., 2002, p. 9)

#### Datos de salida

##### SUPERFICIE SECA

<b>Velocidad mínima vehículo</b>	$V_v \text{ mínima}$	<b>25,30 Km/h</b>
<b>Velocidad vehículo</b>	$V_v \text{ regresión}$	<b>31,63 Km/h</b>
<b>Velocidad máxima vehículo</b>	$V_v \text{ máxima}$	<b>39,69 Km/h</b>

$$v_v \text{ mínima} = 8,77\sqrt{S - d_0}$$

$$v_v \text{ zero} = -4,0894 + (16,0339 \ln S)$$

$$v_v \text{ máxima} = 13,76\sqrt{S - d_0}$$

### 3.3.3 Comparación con un crash test

En este caso se trata de un ensayo con maniquí de peatón en una superficie seca que es atropellado por una furgoneta que circula a una velocidad de 34,5 km/h (Fugger, et al., 2002, p. 2) y que sigue una trayectoria de proyección horizontal.

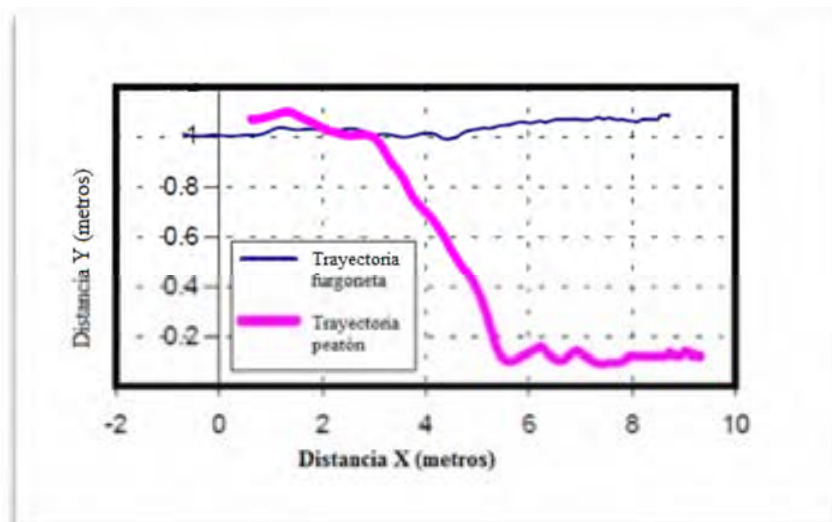


Figura 81: Datos de las trayectorias del vehículo y del peatón

En la Figura 81 se muestran las trayectorias de la furgoneta y del maniquí de peatón y como puede observarse éste último incrementa inapreciablemente su altura al ser golpeado. El ángulo de salida es de  $1,78^\circ$  con una desviación estándar de  $\pm 2,1^\circ$ . Estos datos son coherentes con una trayectoria de proyección horizontal, tal y como se ha planteado en el caso investigado.

## 3.4 Reconstrucción informática del atropello

Consiste en utilizar los datos objetivos conocidos, como son la configuración de impacto del peatón con el vehículo, la cinemática post-impacto, los desperfectos del vehículo, las posiciones finales del peatón y vehículo y la configuración geométrica de éste, junto con los datos antropométricos del peatón para conseguir una simulación completa de la secuencia del atropello. Las posiciones en el momento del atropello y la estimación de la velocidad de atropello sirven como datos de inicio de la simulación del siniestro vial.

### 3.4.1 Metodología llevada a cabo para la reconstrucción

A partir de los datos hasta aquí determinados, el POI, las posiciones del vehículo y del peatón en el POI y la estimación media de las velocidades del vehículo y del peatón en el POI, mediante el procedimiento denominado prueba-error se van modulando y conjugando las diferentes posiciones y velocidades que pudieran haber tomado tanto el peatón como el vehículo en el momento del atropello al objeto de poder ir comprobando los puntos de impacto primarios y secundarios, que nos irán dando la dirección de partida del peatón, el desarrollo biocinémático peatonal, hasta que se consiga de una forma lógica llegar a las posiciones finales reales.



Para hacer efectivo el proceso de una reconstrucción, es necesario calcular la dinámica de las unidades de tráfico, partiendo de las posiciones finales hacia atrás, al objeto de obtener un resultado lógico en el punto de atropello, y a partir de aquí nuevamente hacia atrás para llegar a ubicar al vehículo y al peatón en sus posiciones iniciales, una vez configuradas las secuencias correspondientes, basadas en los datos objetivos obtenidos en el proceso investigativo.

#### *3.4.2 Premisas de utilización de programas informáticos*

La aparición e incorporación al mundo de la investigación de las modernas técnicas de reconstrucción de siniestros viales, –fotogrametría, programas de simulación, programas de reconstrucción,...–, ha permitido a los investigadores, incluso a los pertenecientes a las Fuerzas y Cuerpos de Seguridad, llegar a conclusiones de forma más rápida y exacta, mejorando de forma muy notable la comprensión de cómo ocurrió el siniestro y las causas del mismo. Todos los avances tecnológicos y metodológicos que se apliquen en la investigación favorecen los derechos e intereses de los ciudadanos afectados y redundan en un beneficio general a la sociedad.

Se pueden utilizar diversos programas informáticos para conseguir simular el resultado final de un atropello en las condiciones determinadas por la reconstrucción analítica. Sin embargo, se utilice el programa que se utilice hay que tener en cuenta que las leyes de la física, naturalmente, deben ser las mismas para todos.

Estos programas utilizan modelos físicos y matemáticos validados mediante procedimientos aceptados universalmente. Los módulos de cálculo de este tipo de aplicaciones, sean o no sofisticados, se adecuan a las leyes generales de la física newtoniana. La gran ventaja que ofrece este tipo de programas es la rapidez con que llevan a cabo los cálculos, lo que permite un análisis iterativo, que tenga en cuenta todas las circunstancias del siniestro, hasta que se llega a una solución correcta.

Con respecto a los programas informáticos de simulación o reconstrucción de siniestros viales, generalmente, se deben considerar las siguientes premisas:

- Un programa informático nunca puede ser la solución absoluta, ya que el resultado a conseguir dependerá de la calidad y cantidad de los datos disponibles. Hay que descartar que solo exista una solución posible a la forma en que pudo producirse un hecho de estas características. Ha de trabajarse con un rango de posibilidades. Cuanto más detallada sea la investigación material, menor será el rango de soluciones.
- La mayoría de los programas pretenden ser una herramienta más de apoyo o comprobación en la metodología de investigación de siniestros viales.
- El resultado más relevante de la generalidad de los programas, no el único, viene expresado en el cálculo de la velocidad inicial del móvil.
- Las particulares limitaciones de los programas, con respecto a la casuística de los siniestros, en algunas ocasiones los convierten en complementarios unos de otros.

- Que a mayores prestaciones del programa o a una aplicación casuística más amplia, corresponde una mayor complejidad del mismo y debería corresponder una particular preparación de su operador.
- Que no es aconsejable la utilización de programas informáticos de reconstrucción de siniestros viales sin tener buenos conocimientos de los fundamentos físicos aplicables, sin conocer las simplificaciones, limitaciones y restricciones del programa informático y su módulo de cálculo o sin poseer experiencia de campo en la investigación de siniestros viales.

La infografía forense,–reconstrucción virtual, animación 3D,..., es una forma espectacular y resolutive de mostrar los resultados de una reconstrucción, donde se necesita el auxilio de un ordenador y un programa gráfico de animación 3D. No confundir esta técnica de animación, meramente visual, con la expresión en tres dimensiones de los resultados de un programa de reconstrucción o simulación de siniestros viales por ordenador sujeto a los exigentes condicionantes de la física.

En el caso de atropello investigado se utilizó el programa de simulación PC-Crash® 8.0.

### *3.4.3 La configuración del escenario virtual*

Los programas informáticos de simulación o reconstrucción modelan el entorno en dos y en tres dimensiones, de tal forma que los elementos, previamente configurados, interactúan dinámicamente con las unidades de tráfico intervinientes, de una manera muy aproximada a como lo haría en la realidad.

El entorno, se diseñará teniendo en cuenta, entre otros, los siguientes parámetros:

- Inclinación y peralte de carriles.
- Radios de curvatura de la vía.
- Cambios de rasante.
- Pendiente de la orografía de las zonas anexas a la plataforma viaria.
- Taludes.
- Coeficientes de rozamiento.
- Señalización vertical y horizontal.
- Anclado de vallas de protección lateral.

Se parte del croquis en dos dimensiones pero se tienen en cuenta la situación y las alturas de todos los objetos, vehículos y edificios que pudieron tener influencia en el desarrollo del siniestro vial.

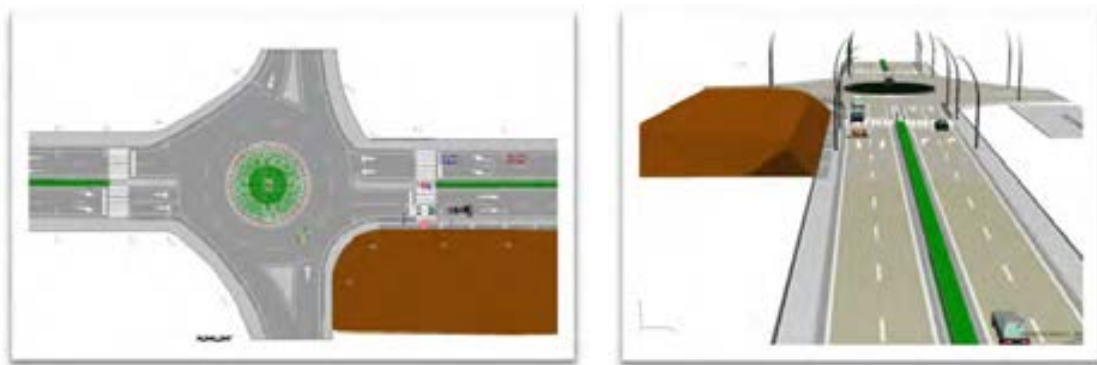


Figura 82: Entorno tridimensional diseñado en base al croquis.

En la imagen se puede ver el resultado final de un escenario urbano 3D realizado y utilizado en el caso real analizado.

### 3.4.4 Vehículo implicado en el atropello

El programa informático dispone de una base de datos de vehículos, en la cual se ha introducido el modelo de vehículo y características técnicas registradas en la inspección ocular del vehículo en el procesamiento de la escena.

Fuerza frenada trasera		Remolque	
Vehicle Shape	Impact parameters	Stability control	Occupants y carga
Geometría vehículo	Suspensión	Stability control	Occupants y carga
Tipo: Camión Nissan VLO (Nissan C) Conducta: <input type="text"/> N° de ejes: 2 Longitud: 5.25 m Anchura: 2.05 m Altura: 2.3 m Voladizo: 1.265 m Vía - Eje 1: 1.488 m Vía - Eje 2: 1.305 m		Total peso: 22007 kg Distancia de CG desde eje: 1.894 m Altura CG: 1 m IDref: <input type="text"/> Z: 5842.1 kgm <sup>2</sup> Rotación: 1545.8 kgm <sup>2</sup> Balanceo: 5842.1 kgm <sup>2</sup> ABS: <input type="checkbox"/> Eje 1-2: 2.3 m	

Grav. del: 25 kg  
 Ocupantes Tot: 0 kg  
 Carga en trébol: 0 kg  
 Carga en mástil: 1196 kg

Because load is positioned in a specific location, this setting should be used for cars only.

For trucks and trailers the load has to be added to the empty weight of the vehicle and needs to be specified in the geometry settings. The CG position for the vehicle and the load has to be specified together in the geometry settings.

Figura 83: Datos introducidos en el programa informático sobre el camión Nissan

Además, permite redimensionar las características geométricas del mismo para ajustarlo a los valores reales, incluyendo el peso de los ocupantes.



Figura 84: Diseño 3D del camión Nissan utilizado en la reconstrucción informática

El resultado final del diseño 3D del camión Nissan Cabstar realizado por el DIRAT puede observarse Figura 84, lo que permite que la interacción de las superficies de este vehículo con el multicuerpo definido a continuación alcance un alto grado de realismo.

### 3.4.5 Módulo multicuerpo de PC-Crash

La versión utilizada de PC-Crash posee varios modelos de cálculo, entre los cuales figura el “Modelo Multicuerpo”, el cual se utiliza para simular colisiones entre vehículos y peatones, entre vehículos y motocicletas, y el movimiento de ocupantes en el interior de vehículos. Un multicuerpo es un sistema de cuerpos rígidos (elipsoides) interconectados por uniones (articulaciones).

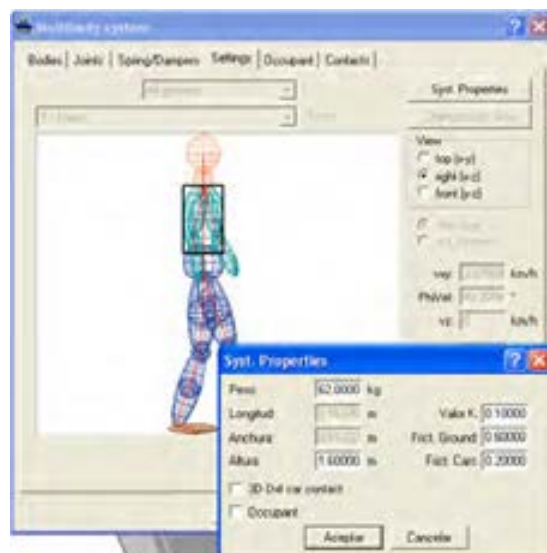


Figura 85: Representación gráfica del modelo multicuerpo

En el caso analizado se dispone del dato de la edad (76 años) y de la altura (1,60 m) del peatón atropellado, pero no de su peso. En el formulario de entrada de la definición del multicuerpo de la Figura 85 se puede ver que se han introducido los datos de altura

(1,60 m), el peso (62 kg), el valor del coeficiente de rozamiento con el suelo (0,6), de rozamiento con el vehículo (0,2) y de restitución (0,1).

Para obtener un valor estimado del peso de la peatón se recurrió a los datos estadísticos antropométricos de la población española, en concreto se adoptó el valor correspondiente al percentil 50 de la población femenina.

Hay que tener en cuenta que existen algunas limitaciones, en la versión utilizada de PC-Crash, a la hora de aplicar el modelo multicuerpo en una simulación de un atropello real:

- Los coeficientes de rigidez de los vehículos se supone que son mucho más altos que los coeficientes de rigidez de las partes del multicuerpo (peatón).
- Las deformaciones superficiales de la estructura del vehículo no se tienen en cuenta.
- Los coeficientes de rozamiento aerodinámico del multicuerpo en el aire, durante la simulación de la fase de vuelo del peatón, no son tenidos en cuenta en su movimiento.
- Las partes del multicuerpo no se separarán durante la simulación Por lo tanto no hay limitación de la fuerza de las articulaciones de interconexión. Su aplicación a los casos en los cuales el cuerpo del peatón resulta desmembrado resulta problemática.
- Las deformaciones en las diferentes partes del cuerpo del peatón no son variables a la hora de realizar el cálculo de otros contactos.

En la versión actual de PC-Crash casi todos estos inconvenientes se han superado o mitigado con las nuevas capacidades de cálculo disponibles y los nuevos modelos y métodos incorporados.

#### *3.4.6 Determinación gráfica previa de la velocidad de atropello a través de la distancia de proyección*

En este caso PC-Crash ofrece de forma gráfica varios modelos estadísticos, que se han expuesto de forma teórica anteriormente en este trabajo, que ofrecen la velocidad de salida del peatón en función de la distancia total de proyección.

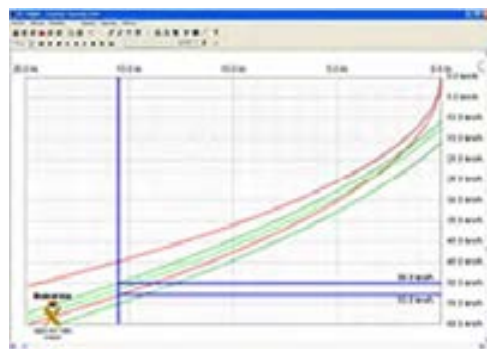


Figura 86: Comparación del resultado de la superposición del croquis y la gráfica de PC-Crash.

El método gráfico que se resume en la tabla de la derecha en la figura anterior, plasma los resultados experimentales obtenidos en distintos ensayos de Crash-test y que incorpora el aplicativo como método comparativo de parámetros.

#### *3.4.7 Simulación del atropello*

En la simulación de un atropello, la fase de contacto es donde uno o más elipsoides del multicuerpos interaccionan con alguna o algunas de las partes del vehículo, provocando su aceleración. Las fuerzas máximas de contacto pueden ser estudiadas en cada uno de los momentos de esta fase, incluso analizarlas cada 15 milisegundos.



*Figura 87: Fase de contacto*

La fase de proyección y vuelo, la configura el programa teniendo en cuenta la aceleración de la gravedad, donde se puede comprobar, como se produce una minoración lenta de la velocidad del multicuerpo.



*Figura 88: Fase de vuelo*

La última fase de movimiento sobre la superficie de la vía se caracteriza por la configuración del grado de rozamiento de la superficie de deslizamiento, donde el multicuerpo aumentará o disminuirá la distancia total de arrastre en función del citado coeficiente de fricción.



*Figura 89: Fase de rebote y arrastre sobre la superficie de la vía hasta la posición final*

En el caso que nos ocupa la simulación ofreció como resultado una velocidad de impacto de 34 Km/h, con los datos introducidos para el multicuerpos y para el propio vehículo.

A esta velocidad existe una total coincidencia con la distancia de proyección y con la posición final de la víctima, pero esto no es suficiente para considerarla una solución posible y además óptima del problema. Por eso hay que comparar los lugares de impacto de los diversos elipsoides en el vehículo con los daños efectivamente observados en el camión y los diversos elipsoides afectados con las lesiones recibidas por la víctima.

#### *3.4.8 Comparación simulación con daños en el vehículo*

En primer lugar se establece una correlación entre los desperfectos del vehículo, y la simulación realizada para después poder cotejarla con las lesiones indicadas en el informe de autopsia. Este análisis sirve como base para confirmar el patrón biocinemático peatonal elegido para el inicio de la investigación, y para reforzar los resultados de los cálculos analíticos.

Con la posición que se deduce de las lesiones descritas en el informe de autopsia se hizo la simulación teniendo en cuenta las alturas a las que se habían observado daños.



*Figura 90: Daños reales (izquierda) y comparación de la posición del cuerpo en la simulación (centro y derecha)*



Las piernas son las partes que primero impactan con el camión con el parachoques al que producen diversos roces, casi simultáneamente impacta la pelvis y el torso con la pieza de chapa del frontal con una deformación permanente visible y, finalmente, la cabeza golpea con el cristal del parabrisas. En la Figura 91 puede verse que el programa PC-Crash colorea de rojo los elipsoides del multicuerpo que han impactado con el frontal del camión.



Figura 91: Las tres partes del vehículo que impactan con diversas partes del cuerpo en la simulación

De esta forma se establece que la simulación reproduce fielmente la realidad y no solo es una posible solución de las posiciones finales del vehículo y del peatón. De la misma forma hace posible que la simulación se utilizada en posteriores investigaciones desde los más diversos campos de la ciencia, especialmente desde la Ingeniería Mecánica para mejorar el diseño de los vehículos y hacerlos menos agresivos con los peatones.

#### 3.4.9 Comparación mecanismo lesional en la simulación con lesiones del peatón en la realidad

El mecanismo lesional, se diseñará tridimensionalmente, en base al cotejo del posicionamiento de cada una de las zonas corporales afectadas, con los deformaciones permanentes localizadas en la estructura del vehículo, originando de esta forma una visual bastante intuitiva de la dinámica peatonal en la fase de contacto, apoyo y transporte. Para lograr un buen cotejo, es necesario realizar un completo estudio externo e interno del vehículo y obtener el informe o parte de lesiones del viandante, y que se puedan esquematizar, en un cuadro sencillo, la descripción y localización de las heridas que se han infligido al sujeto atropellado.

En este caso, el informe de autopsia exponía todas las lesiones que se causaron a la víctima, tal y como puede verse en el cuadro gráfico y descriptivo de la Figura 67. De ahí se deduce su postura sería la natural de paso de una persona y su tronco estaría, por tanto, rotado ligeramente hacia su derecha. Por este motivo, salvo la cabeza, se aprecia que una mayor lesividad, en la mitad izquierda del cuerpo de la víctima.

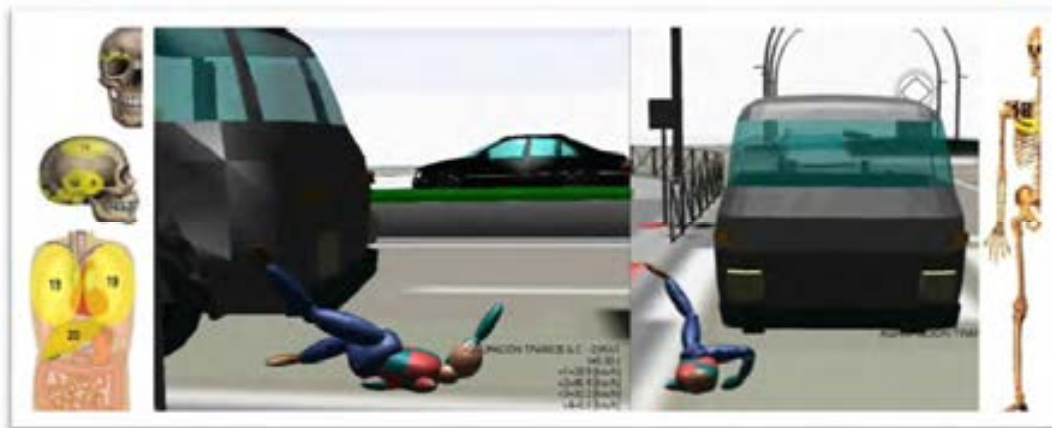
Considerando las lesiones en las rodillas consistentes en un hematoma en la cara externa de la izquierda (6) y en la interna de la derecha (7), se puede determinar que efectivamente la persona se encontraba en movimiento, con la pierna izquierda

adelantada respecto a la derecha. También se produjo las escoriaciones en ambas rodillas (10). El segundo impacto, casi simultáneo, que recibe el peatón el golpe a la altura de la pelvis que le causa un hematoma en raíz muslo izquierdo (8) y un hematoma en tercio medio cara externa brazo izquierdo (5), además le produjo las fracturas de clavícula (16) y parrilla costal (17). A continuación, el último contacto con el vehículo se produjo con la cabeza de la víctima que le produjo la herida en la ceja (1), el hematoma ocular (2) y la fractura del temporal (14). En la Figura 92 puede verse la correlación entre la simulación y las lesiones enumeradas.



*Figura 92: Lesiones inferidas al peatón en los tres impactos con el vehículo*

En cualquier caso el impacto con el suelo para una persona de edad avanzada es brutal, como demuestran en este caso las lesiones causadas en la parte derecha de su cuerpo. Existen lesiones en el tobillo (9), en el torso (18), (19) y (20) y en la cabeza (3), (4), (11), (12), (13) y (15).



*Figura 93: Lesiones producidas al peatón por el impacto con el suelo*

Como se puede observar, si se dispone de datos de calidad en la investigación, la simulación puede ser mucho más precisa, lo cual posibilita que si estos datos tienen que ser utilizados a posteriori para cualquier tipo de estudio biomecánico los resultados finales sean mucho más precisos y fiables. Es la evidencia clara de una ley, no escrita, del traslado de calidad a lo largo del proceso de investigación.

### 3.5 Tipología

Si se aplican, al caso planteado, las reglas expuestas en la exposición teórica de este Capítulo, se consigue una clasificación tipológica del mismo:

- 1) **Vehículo implicado en el atropello (Primer criterio).** Se trata de un atropello llevado a cabo por un vehículo pesado (H) de mercancías.
- 2) **Parte del vehículo que impacta con el peatón (Segundo criterio).** Después de observar los daños que presenta el vehículo se puede afirmar que el atropello se produjo realizó con su frontal (F).
- 3) **Edad del peatón (Tercer criterio).** En este caso se trata de una mujer de edad avanzada (O).
- 4) **Postura del peatón (Cuarto criterio).** El peatón iba a cruzar un paso de peatones andando, luego su postura era erguida o de pie (S).
- 5) **Posición relativa del peatón respecto al vehículo (Quinto criterio).** En este caso el peatón había dado dos pasos dentro de la calzada y recibió su impacto en su lateral izquierdo (L), deducido de su trayectoria establecida de acuerdo con lo observado en la escena de los hechos y con las manifestaciones del conductor y los testigos. Todo ello, confirmado por las lesiones observadas en la persona atropellada.
- 6) **Trayectoria postimpacto del peatón (Sexto criterio).** En este caso, tratándose de un vehículo de frontal plano y alto se deduce que el peatón trazó una trayectoria hacia delante (F) después del primer impacto, golpeando en primer lugar con su pierna en la parte baja el parachoques, con la cadera a la altura del motor y con su cabeza en el limpiacristales y en el propio cristal del vehículo.

La clasificación tipológica de este siniestro vial sería atropello realizado por vehículo pesado con su frontal a una persona de edad avanzada erguida en su lateral izquierdo con trayectoria postimpacto de proyección hacia delante, luego el código a utilizar sería **HFOSLF**.

### **3.6 Análisis de las acciones y condiciones**

De la información disponible y, sobre todo, de las evidencias y testimonios se pueden ir determinando las acciones que han ido tomando las personas implicadas y las condiciones en las que lo hicieron.

#### *3.6.1 Previaje*

No se realizaron preguntas al conductor o a testigos de referencia sobre la noche anterior al suceso y sobre la jornada laboral matinal. No consta cuanto tiempo tuvo de descanso para la comida.

Condición socionormativa, los conductores profesionales de vehículos de menos de 3500 kg no tienen control de descansos y periodos de conducción, porque sus vehículos no están obligados a llevar tacógrafo.

No consta ningún dato sobre la mujer atropellada referente a las horas anteriores al atropello.

### 3.6.2 *Viaje*

El conductor había recogido una carga de material de construcción en un almacén y se dirigía al lugar de su descarga. Como condición, por la hora de ocurrencia del atropello estaba próximo a la finalización de su jornada laboral.

No consta el motivo del desplazamiento de la mujer, ni el punto de inicio de su camino ni el punto final y, por lo tanto, la ruta a utilizar. Como condición tenía problemas de movilidad, además de su avanzada edad.

### 3.6.3 *Preimpacto*

El conductor del camión se acerca a la glorieta previa al paso de peatones. Condición se trata de un tramo recto con ligera pendiente hacia abajo.

La señora está andando por la acera en el tramo curvo correspondiente a la glorieta. Como condición esta su edad que no le permite un desplazamiento a velocidad elevada y la barandilla que delimita la acera de la glorieta.

El conductor atraviesa el paso de peatones previo a la rotonda y tiene que reducir su velocidad para poder entrar en la misma y trazarla. Como condicionantes de esta acción se encuentra el tráfico en la glorieta que a esa hora es denso y la carga que transporta que es susceptible de desplazamiento

La señora llega a la altura del paso de peatones y cambia de dirección para atravesar perpendicularmente la vía. Se establece como hipótesis de investigación el lugar exacto por el que cruzó porque determinará el POI.

El conductor traza la rotonda y enfoca la segunda salida que le permite continuar con su trayecto. A esta altura existe como condición negativa que afecta a su capacidad para percibir peatones en la acera una alineación de farolas, postes, señales y la barandilla que obstaculizan al campo visual de los conductores.

El conductor sale por la segunda salida de la glorieta y enfoca el tramo recto de la misma vía que traía. En ese momento hay tres peatones a punto de cruzar la vía, dos en el refugio situado a la izquierda del conductor y la señora referida que se encuentra en la acera derecha dispuesta a cruzar en sentido contrario. La velocidad era constante o hubo una ligera aceleración.

La señora se introduce en la calzada en el paso de peatones, a pesar de que el camión se acerca. Como hipótesis se puede plantear que lo vio y pensó que iba a parar o que no lo vio. Su edad condiciona la percepción y la atención con respecto al tráfico y a su capacidad de evaluar el riesgo de una determinada situación. Como condición de esta

acción, el sistema sacionormativo no obliga a los peatones a esperar a que los vehículos estén parados para introducirse en el paso de peatones, esta condición tan necesaria solo es objeto de campañas publicitarias y recomendaciones.

El conductor del camión puede percibir que existe un peatón que está entrando en la vía para cruzarla, efectivamente percibe ese hecho y reacciona intentando realizar una maniobra evasiva consistente en una frenada de emergencia y con un giro instintivo de volante hacia el lado contrario a aquel por el que ha aparecido el peatón. No dejó huella de frenado. Se establece como hipótesis si la frenada fue anterior, simultánea o posterior al impacto. Como condición de esta frenada se establece una superficie seca y limpia de asfalto a una temperatura próxima a los 30°.

#### *3.6.4 Impacto*

El conductor, a pesar de su maniobra evasiva, no logra evitar el impacto con el peatón. El camión golpea con el extremo derecho de su frontal al peatón.

El peatón dio varios pasos y estaba dentro de la calzada a la altura del paso de peatones. A esta altura sufre el impacto del camión en la parte lateral de su cuerpo y cabeza.

#### *3.6.5 Postimpacto*

El conductor del vehículo, que está frenando en esta fase, detiene el vehículo una corta distancia antes que la víctima y sin arrastrarla.

El peatón es proyectado hacia adelante y tras un breve vuelo, impacta con el suelo con la parte lateral derecha de su cuerpo y cabeza. La víctima queda tendida en su posición final por delante del camión.

### **3.7 Vinculaciones de las acciones y eventos con las fuentes de prueba**

La deceleración anterior al paso de la glorieta justificada por la carga se encuentra justificada por la aportación del albarán de carga por parte de la empresa y por las fotografías de la Inspección Ocular, tal y como puede observarse en la Figura 109. Este hecho permite determinar, junto a la capacidad de aceleración del camión en la salida de la glorieta, que el rango de velocidades de atropello será relativamente bajo, lo cual se corrobora en las pruebas de recorrido y frenado llevadas a cabo con el camión.

El lugar donde se introduce el peatón en la calzada, objeto de controversia entre los testigos, fue aclarado por una investigación adicional que permitió que los testigos mejor situados declararan terminantemente que la señora estaba cruzando por el paso de peatones a un metro de la farola.

Las pruebas de frenado realizadas permiten determinar un rango de posibilidades de la deceleración del camión, que es considerablemente menor a la de un vehículo ligero, y además se puede calcular un coeficiente de rozamiento. También sirve para comprobar si la velocidad calculada es coherente con la capacidad de detención del vehículo, ya que se sabe cuál es esta distancia desde el POI hasta la posición final del camión.

La posición del peatón en el momento del impacto viene determinada por el análisis de las lesiones reflejadas en el informe de autopsia y su cotejo con las diferentes alturas a las cuales presenta el vehículo los daños que son medidos, registrados y fotografiados en la Inspección Ocular. En la posterior simulación informática estos datos deben ser tenidos en cuenta para asegurar una reconstrucción lo más exacta posible de los hechos.

La distancia de proyección se determina a partir de la posición final de la víctima y conociendo el punto donde se introdujo en el paso de peatones, aun admitiendo que la determinación exacta del lugar de atropello es susceptible de contener cierto error.

Las condiciones de la vía se basan en la Inspección Ocular realizada y su geometría y las mediciones en el croquis realizado como uno de los productos de aquella.

### 3.8 Determinación del Evento Crítico

La secuencia general de eventos en la fase de preimpacto en un atropello se inicia cuando el peatón se introduce en la calzada o, en algunos casos, cuando el vehículo a motor abandona la calzada y entra en un área donde los peatones pueden caminar. Frecuentemente esta fase inicial también marca el comienzo del periodo de percepción y del tiempo de reacción tanto para el conductor como para el peatón.



Figura 94: Captura de pantalla de la situación en el momento del Evento Crítico en la simulación con PC-Crash

En este caso, es la mujer atropellada quien se introduce en la calzada por el paso de peatones, lo cual constituye un peligro que debe ser percibido por el conductor del camión para adoptar la maniobra evasiva adecuada.

### 3.9 Análisis de las posiciones sincronizadas

El análisis de las posiciones sincronizadas se puede hacer utilizando la hoja de cálculo Excel de MOSES, la simulación informática en PC-Crash y la grabación videográfica realizada.

Su finalidad es determinar la situación de las posiciones cruciales de la secuencia de eventos con el objetivo de poder fundamentar las conclusiones sobre las causas y las condiciones que estuvieron implicadas en este atropello.

### *3.9.1 Posición Final (PF)*

De los datos obrantes en la Inspección Ocular se constata que el vehículo acabó detenido en su Posición Final a tan solo 8,16 metros de la finalización del paso de peatones y a 8,56 metros del punto de atropello.

De la determinación del POI realizada en la investigación adicional y el croquis elaborado a consecuencia de la Inspección Ocular se determina que la distancia de proyección (S) del peatón son 9,25 metros y, por lo tanto, la víctima quedó tendida a 8,85 metros de la finalización del paso de peatones y a 9,25 metros del punto de atropello.

### *3.9.2 Posición de Percepción Posible (PPP)*

Este punto es un lugar del espacio en el que cualquier persona, o un conductor medio, podría haberse dado cuenta del peligro o de la circunstancia que motiva el accidente. En el caso concreto que nos ocupa el peligro que tendría que haber detectado el conductor del camión es la existencia de dos personas cruzando el paso de peatones en el lado izquierdo de la calzada y una persona en el lado derecho. Hay que tener en cuenta dos premisas: primera, se trata de percibir el punto de donde se produce el impacto cuando el vehículo encara ese tramo de carretera; y segunda, hay que tener en cuenta para determinar el punto, la velocidad a la cual se desplazaba el camión. Se realizaron tomas videográficas del trayecto previo al atropello de las cuales se deduce que el punto de percepción posible a partir del cual puede divisarse el paso de peatones y a personas dispuestas a cruzarlo y en base a la simulación realizada con PC-Crash que determina que el ECRIT se sitúa a 1,94 segundos del POI, lo cual convertido en distancia con la velocidad de circulación del camión supone que se encontraba a 18,54 metros del Punto de Impacto (POI) y a 14,4 metros del paso de peatones.

Como el ECRIT constituye el peligro a ser visualizado por el conductor, en el PPP el peatón está entrando en la calzada y, apenas, ha dado un paso dentro del paso de peatones. Aquí todavía no lo ha visto el conductor del camión ya que no ha comenzado a realizar ninguna maniobra evasiva.

### *3.9.3 Posición de Percepción Real (PPR)*

Es el momento y lugar en el cual, el conductor percibió por primera vez el peligro o situación anormal. El conductor se apercibe de la presencia del peatón en la calzada. Después de evaluar el peligro decide hacer una maniobra evasiva consistente en una frenada de emergencia y, posiblemente, a consecuencia de la sorpresa que le ha supuesto la acción del peatón de entrar en la calzada, realiza un giro de volante hacia la izquierda.



No existen evidencias sobre el punto exacto en el cual el conductor se apercibió del peligro que suponían los peatones cruzando la vía por el paso de cebra, pero es seguro que tuvo conciencia y se apercibió de su presencia porque el conductor del vehículo frenó y acabó detenido en su Posición Final a tan solo 8,16 metros de la finalización del paso de peatones y a 8,56 metros del punto de atropello.

Según un cálculo basado en la distancia recorrida por el camión a velocidad constante de 34,4 Km/h, el PPR se encuentra a 7,08 metros del punto de inicio de la frenada (PED). Se ha estimado un tiempo de reacción de 0,75 segundos, a partir de datos estadísticos, dada la edad y la condición profesional del conductor.

#### 3.9.4 Posición de Ejecución de la Decisión (PED)

El PED no puede situarse en este caso a partir de las evidencias en la calzada, ya que no hay huella de frenada.

Se estableció una triple hipótesis para el inicio de la frenada:

- Hipótesis A: El conductor frenó antes del impacto con el peatón y se encontraba frenando en el momento del atropello.
- Hipótesis B: El conductor frenó simultáneamente al impacto con el peatón.
- Hipótesis C: El conductor frenó con posterioridad al impacto con el peatón.

La Hipótesis A es la que cuenta con un mayor número de argumentos físicos a su favor:

- El peatón quedó por delante del camión en sus posiciones finales, luego si la deceleración del peatón es mayor ( $\mu_p=0,6$ ) a la experimental del camión ( $\mu_{v\_exp}=0,45$ ), solo es posible si el vehículo comenzó a frenar antes del impacto.
- Suponiendo una deceleración del camión ( $\mu_{v\_exp}=0,45$ ) como la determinada experimentalmente el conductor necesitaría 10,5 metros para detener el vehículo circulando a 34 km/h. En este caso frenaría dos metros antes del POI y la frenada duraría dos segundos, lo cual es coherente con el planteamiento.

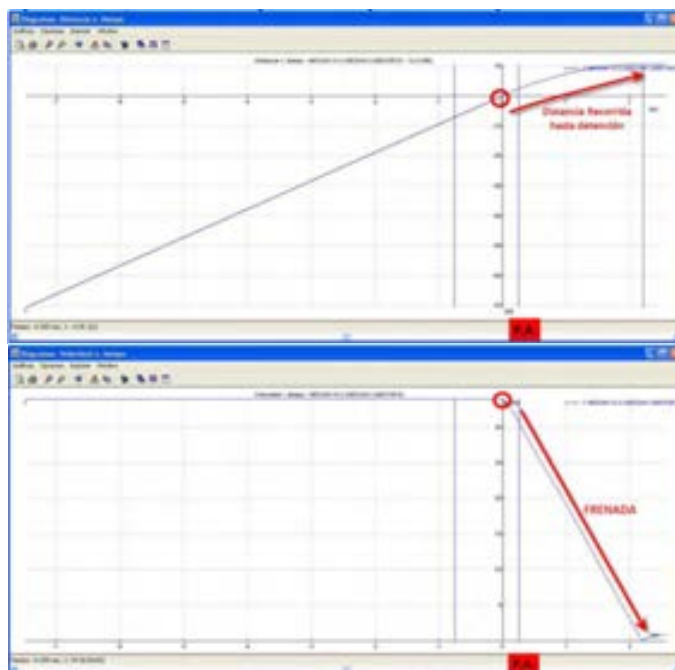


Figura 95: Diagrama distancia-tiempo (arriba) y velocidad-tiempo (abajo) de la simulación con PC-Crash con el punto de atropello (PA)

Como la simulación con PC-Crash que se ha considerado tiene como velocidad de impacto en el POI el valor de 34 km/h, dos metros antes suponiendo la deceleración constante el vehículo circulaba a 34,4 Km/h que se consideraría su velocidad de circulación a la salida de la glorieta.

### 3.9.5 Posición de No Escape (PNE)

Es aquel momento y lugar en el cual el siniestro resulta inevitable, es decir, el impacto se producirá ya independientemente de la voluntad del conductor. Es determinable en función de la posibilidad de realizar cálculos matemáticos a partir de los datos de campo disponibles. Su importancia es vital para el análisis jurídico de la conducta del conductor del vehículo, sobre todo en relación con el deber de cuidado subjetivo, que exige que la conducta anómala del peatón sea evitable siempre que no exista vulneración de la norma de cuidado por parte del conductor.

Aplicando la cinemática del movimiento decelerado con un coeficiente de rozamiento de 0,53 que es el realmente utilizado en este caso, realizar los cálculos precisos para determinar la distancia que necesita el camión Nissan para detenerse antes de impactar con el peatón suponiendo que circula a una velocidad de 34,4 Km/h es relativamente sencillo, siendo ese valor 8,80 metros.

A esta distancia hay que sumar la distancia que recorre el vehículo durante el tiempo de reacción del conductor, que se vuelve a tomar como 0,75 s, y que son 7,08 metros, con lo cual la distancia total necesaria para frenar el vehículo sin impactar con el peatón serían 15,88 metros.

### 3.10 Secuencia de eventos de este atropello

En base a los datos procedentes del procesamiento de la escena del atropello y de las investigaciones adicionales realizadas, específicamente la grabación en video realizada, de donde proceden las fotografías utilizadas, se puede realizar la siguiente reconstrucción gráfica de cómo se produjo el siniestro vial:

- El camión Nissan cruza el paso elevado sobre el ferrocarril situado en la Avenida y se dirige hacia la glorieta.



*Figura 96: El camión viene circulando por la Avda. Reina Sofía dirección sur (Badajoz)*

- Continúa su trayecto por el carril derecho de esta vía de doble carril en calzadas separadas para cada sentido de la circulación. Se aproxima a la glorieta, sobrepasando la señalización de peligro que avisa de su proximidad.



*Figura 97: El conductor es avisado por una señal vertical del peligro de la proximidad de una rotonda*

- Se observa el primer paso para peatones. A simple vista puede percibirse que hay una leve pendiente ascendente.



*Figura 98: Paso de peatones previo a la glorieta.*

- Se puede ver el primer paso para peatones. La señalización vertical nos advierte de esta circunstancia, así como de la preferencia de paso que tiene el vehículo que circula por el interior de la glorieta.



*Figura 99: la glorieta previa al paso de peatones*

- Se llega a la altura del primer paso para peatones. El conductor debe empezar a observar el tráfico de vehículos que circula por la rotonda procedente de su izquierda para cederles el paso.



*Figura 100: Primer paso de peatones previo a la glorieta.*

- Se ha superado el primer paso de peatones. El camión se aproxima a la glorieta y su conductor debe ceder el paso a los vehículos que circulan por la rotonda y

que se le aproximan por la izquierda. La atención de los conductores en este punto se centra en las demandas del tráfico de la rotonda. Al fondo puede vislumbrarse el paso para peatones donde se produce el atropello, pero desde este punto no puede observarse a ningún peatón en sus proximidades.



*Figura 101: entrada de la rotonda donde el vehículo que accede debe ceder el paso a los otros vehículos*

- A la entrada en la rotonda puede divisarse el paso de peatones, pero no puede observarse a nadie que esté dispuesto a cruzar por el paso de peatones.



*Figura 102: Circulación dentro de la rotonda*

- Cuando se encara la salida de la glorieta, para continuar por la vía en la dirección que llevaba, es claramente visible el paso para peatones. También serían visibles los peatones que crucen de izquierda a derecha o que se encuentren detenidos en la isleta de separación de calzadas en la mitad transversal de la vía. No son visibles, o difícilmente visibles los peatones que se encuentren en la acera derecha por un problema de visibilidad, tal y como puede apreciarse en la fotografía abajo inserta obtenida en la grabación de la prueba de frenado realizada con el camión.



*Figura 103: Vista del paso de peatones desde el interior de la glorieta*

- El conductor del camión llega al Punto de Percepción Posible (PPP) donde comienza a ser visible un peatón que se encuentre en la acera derecha, tal y como puede verse en la Figura 104. En la fotografía puede observarse el primer punto donde es plenamente visible la presencia de peatones al borde de la calzada derecha a la altura del paso de peatones donde se produjo el atropello.



*Figura 104: PPP del conductor del camión con respecto a un peatón que atraviesa la vía*

- Inmediatamente después del PPP se encontraba el Punto de No Escape (PNE), aunque se encuentran muy próximos el uno al otro lo que deja poco margen para la reacción.
- En el PPR, el conductor del camión se apercibe del peligro que supone el Evento Crítico, en este caso un peatón que ha entrado en la calzada desde la acera derecha. Hay menos de diez metros al POI.



*Figura 105: Punto de percepción real del conductor del vehículo*

- En el siniestro que se estudia, el punto de Impacto (POI) está localizado a 0,5 metros de la finalización de la señalización horizontal de paso de peatones y a 1,5 metro de la acera.



*Figura 106: Lugar de atropello POI.*

- La parte frontal derecha del camión impacta con el peatón en el punto de atropello, tal y como puede verse en la Figura 106, que se encuentra a medio metro de la finalización de esta señalización horizontal. El atropello se produce sin que el vehículo haya frenado, o simultáneamente, al comienzo de la frenada.



*Figura 107: Punto de inicio de ejecución de la maniobra de frenado por parte del conductor*



- La persona atropellada quedó tendida en su posición final (P.F.) que viene determinada por los restos de sangre que se encuentran en el borde de la calzada.



*Figura 108: Posición final de la persona atropellada*

- El vehículo implicado en el atropello queda detenido al finalizar la frenada con anterioridad a la posición final del peatón.



*Figura 109: Posición final del camión*

### **3.11 Conclusiones sobre la situación relativa de las posiciones**

Una vez determinadas las posiciones relativas en este caso, su análisis debe proporcionar argumentos lógicos para la determinación de sus causas y condiciones.

- Relación entre la PPP y la PPR

En base al espacio existente entre la PPP y la PPR, que se ha estimado menor a diez y que el camión recorre en dos segundos, puede asegurarse que no hubo falta de atención ni distracción en la conducción.

- Relación entre la PPR y la PED

El intervalo existente entre la PPR y la PED viene determinado por el tiempo de reacción de la persona frente al peligro o a la situación anómala y que ha sido estimado de acuerdo a consideraciones estadísticas. En todo caso, dado lo ajustado del espacio disponible para realizar la maniobra evasiva puede afirmarse que la reacción fue rápida. El giro a la izquierda del volante hace pensar en una reacción instintiva que lleva al

conductor a girar el volante al lado contrario a aquel por el que aparece el peatón. No hubo error en la decisión sobre que maniobra ejecutar.

- Relación entre la PED y la POI

En este caso no había espacio apenas para la maniobra evasiva, ya que la frenada se ha razonado que puede comenzar dos metros antes del POI, apenas llega a perder medio kilómetro por hora en esa pequeña distancia. No existió error en la ejecución de la maniobra.

- Relación entre el PPP y el PNE

Este atropello por la situación tan próxima entre el PPP y el PNE era muy difícil de evitar, ya que el conductor del camión tenía menos de un metro disponible para ver al peatón accediendo al paso de peatones y poder frenar su vehículo antes de llegar a golpearlo.

### **3.12 Representación matricial del modelo MOSES aplicado al siniestro vial**

A lo largo de todo el proceso investigador se obtienen retazos de información y datos que deben introducirse en la matriz de análisis del modelo MOSES para poder visualizar gráficamente la evolución de eventos y condiciones a lo largo del tiempo con carácter previo al impacto y con posterioridad al mismo.

El proceso continua con la realización de la reconstrucción física de las variables físico-dinámicas de los vehículos y las personas implicadas en las posiciones características definidas en el modelo MOSES. Esto permitirá un análisis de la situación relativa de esas posiciones y de los parámetros dinámicos, principalmente el espacio y el tiempo disponibles, para determinar la evitabilidad de los eventos y del propio impacto, así como de las causas que han conducido al mismo.

Con la aplicación rigurosa y metódica de este proceso se debería estar en condiciones de justificar de una forma lógica las causas que han contribuido a la ocurrencia del siniestro vial, pero también detectar las carencias de información y de argumentos razonables para descartar otras.

De esta forma, la matriz de análisis de MOSES, no solo permite argumentar las causas que concurren en un supuesto concreto, sino que sirve para mejorar continuamente la metodología de investigación aplicada y obtener, cada vez, resultados más precisos y completos.

En la Figura 110 puede verse el resultado del análisis matricial de MOSES aplicado al supuesto de atropello arriba expuesto y, en base al cual, se acometerá la fase final de la investigación de un siniestro vial que consiste en la determinación de las causas y condiciones en las que se produjo.



## **4. CAUSAS Y CONDICIONES DEL ATROPELLO**

La reconstrucción informática del atropello y el desarrollo secuencial del siniestro, de acuerdo con el modelo MOSES, son las premisas necesarias para poder buscar, localizar e identificar las condiciones y las causas que han contribuido, de una u otra forma, a su producción.

### **4.1 Condiciones**

Las condiciones se analizan dentro de cada subsistema, pero teniendo en cuenta que se encuentran interrelacionadas entre si y además afecta a otros subsistemas. Así, por ejemplo, la estiba de carga del vehículo y la configuración de la rotonda permite deducir que la velocidad crítica de paso condiciona la forma de tomarla por parte de su conductor.

#### *4.1.1 Factor Humano*

Las condiciones que afectan al peatón son su avanzada edad y sus problemas de movilidad. La primera condiciona su movilidad, su capacidad para percibir, evaluar y reaccionar ante los peligros y la resistencia de su cuerpo frente a las lesiones. La segunda condiciona la capacidad para moverse, caminar y cruzar una vía.

Las condiciones que afectaban al conductor, como profesional, eran su jornada laboral y la proximidad del fin de esa jornada en el viaje en curso,

#### *4.1.2 Vehículo*

Vehículo pesado de tamaño pequeño, que presenta un estado de conservación óptimo, que iba cargado y la estiba de su carga le impedía tomar la rotonda a alta velocidad.

#### *4.1.3 Vía*

La existencia de una glorieta con pasos de peatones en sus salidas que tiene obstáculos visuales para que el conductor de un vehículo perciba a un peatón que se acerque al paso de peatones o que se encuentre esperando en su borde a pasar.

#### *4.1.4 Sistema sacionormativo*

La falta de control de las jornadas laborales de los conductores profesionales en vehículos de menos de 3500 kg por la no obligatoriedad de los tacógrafos.

### **4.2 Causas**

Las causas en este siniestro son complejas, porque conjuntamente deberían permitir explicar de forma coherente sobre el motivo que llevó al peatón a introducirse en el paso de peatones cuando a veinte metros se acercaba un camión y las razones por las que el conductor no había adoptado la decisión de detener su vehículo al salir de la rotonda ante la presencia de peatones en ambos lados del paso de peatones.

#### *4.2.1 Factor Humano*

El Evento Crítico se produce porque el peatón no es consciente del riesgo que supone la proximidad del camión al introducirse en la calzada. No es posible determinar si este evento se produce por una falta de percepción o por una mala evaluación de la velocidad, de la distancia y de la capacidad de frenado del camión o por todas ellas.

El conductor del vehículo iba atento a las circunstancias del tráfico, la acción del peatón hizo el atropello difícilmente evitable. Su evaluación de los riesgos no fue adecuada demostró una falta de interés por parar en el paso de peatones, ya que había otros peatones esperando plenamente visibles, además, de la propia víctima.

#### *4.2.2 Vehículo*

No se han encontrado causas relativas al vehículo.

#### *4.2.3 Vía*

La falta de regulación semafórica en el paso de peatones.

#### *4.2.4 Sistema sacionormativo*

No existe una regulación semafórica que obligue a detenerse a los vehículos para permitir pasar a los peatones.

En los pasos de peatones sin regulación semafórica, como sucede en el caso analizado, la falta la obligatoriedad de los peatones de detenerse hasta que, a consecuencia de su prioridad de paso en ese lugar, el vehículo se detenga completamente.

### **4.3 Medidas Adoptadas**

En este paso de peatones se puso en funcionamiento, el 17 de julio de 2010, una regulación semafórica con pulsador que permite a los peatones atravesar la vía una vez que los vehículos se han detenido al visualizar la luz roja en el semáforo (HOY , 2010), tal y como puede comprobarse en la Figura 111. Desde entonces y hasta el momento, no ha habido más atropellos mortales en este lugar.



*Figura 111: Estado actual del paso de peatones con la regulación semafórica.*

## 5. CONCLUSIONES

En este Capítulo se ha abordado como aplicar el modelo MOSES y la metodología teórica de investigación a una tipología concreta de siniestros viales, el atropellos a peatones. La primera parte ha desarrollado una clasificación tipológica de los atropellos para posteriormente abordar la compleja dinámica de un impacto entre un vehículo y un cuerpo humano y las consecuencias lesivas que este suceso supone para las personas golpeadas, finalizando con un resumen de los principales proyectos de investigación europeos y españoles en esta materia. La segunda parte es la exposición de la investigación realizada en un caso real de atropello ocurrido en Mérida a lo largo del periodo de elaboración de esta tesis y que ha servido para comprobar si la metodología de investigación permite obtener, con los medios personales y materiales con que cuentan los Equipos de Reconstrucción de Siniestros Viales de la Agrupación de Tráfico de la Guardia Civil, todos los datos necesarios para aplicar el modelo MOSES de reconstrucción del atropello y poder concluir con una estructuración lógica, fundamentada y racional de las causas y condiciones en que se produjo este atropello.

Las conclusiones que se han alcanzado a lo largo de todo el Capítulo pueden ser sumariamente enumeradas a continuación:

- Se ha formulado una clasificación tipológica de los atropellos a peatones, completamente original, que permite, con un simple código alfanumérico de seis letras, comprender cuál ha sido la dinámica preimpacto y postimpacto del cuerpo del peatón, su interacción con el vehículo que variara dependiendo de su perfil y su geometría y los factores personales que concurren en el peatón.
- El estudio biomecánico del impacto entre un vehículo y una persona es complejo, a pesar de lo cual, puede establecerse que, con carácter general, consta de tres fases claramente diferenciada que pueden conllevar múltiples trayectorias postimpacto del cuerpo del peatón. El movimiento del peatón después del impacto puede ser analizado, con ciertas simplificaciones, siguiendo dos tipos principales de trayectorias: la proyección horizontal y movimiento parabólico.
- En los atropellos frontales la clasificación de los patrones biocinematicos en cinco diferentes categorías puede considerarse clásica y universalmente aceptada. El estudio de los daños del vehículo y su contraste con las lesiones del peatón permitirán establecer cual o cuales de las cinco trayectorias postimpacto ha seguido el cuerpo de un peatón en un determinado caso.
- El estado del arte de la investigación sobre atropellos permite clasificar los diferentes modelos de cálculo de la velocidad del vehículo en el momento del impacto con el peatón en cuatro categorías diferentes: físico-matemáticos, estadísticos, empíricos e informáticos avanzados. Ninguno de ellos es excluyente del resto, antes al contrario son complementarios y necesarios para alcanzar conclusiones consistentes y coherentes en el proceso de reconstrucción técnica de los hechos.

- Las lesiones ocasionadas a las víctimas de siniestros viales, en este caso a los peatones atropellados, ofrecen una valiosa información que permite tomar medidas en todos los elementos del sistema vial para evitarlas o, en su caso, paliarlas. En lo que afecta a la Ingeniería Mecánica, para poder mejorar el comportamiento de los vehículos en los atropellos, es necesario establecer el mecanismo lesional, estudiar la interacción de cada región anatómica con cada parte o pieza del vehículo y analizar los límites biomecánicos de tolerancia establecidos en los ensayos reglamentarios o en la literatura sobre la materia. Esta información recogida de forma masiva y completa, abre la puerta a estudios especializados de mayor nivel de profundidad que permita limitar las lesiones ocasionadas a los peatones de forma similar a como ya se ha hecho con los ocupantes de todo tipo de vehículos.
- Una mirada a los proyectos de investigación, europeos y españoles, específicamente dedicados o con un foco especial en los atropellos a peatones permite alumbrar el camino que en el futuro seguirá esta actividad. Es muy importante destacar que en esta materia los centros de investigación españoles están al mismo nivel que sus coetáneos europeos, pero que el sistema institucional de apoyo, quizás, no les permite alcanzar unos resultados finales semejantes.
- Con un caso práctico real se ha conseguido aplicar tanto el modelo como la metodología a la investigación a un atropello a un peatón, como ejemplo de una concreta tipología de siniestros viales. El supuesto desarrollado permite demostrar que es posible la hipótesis planteada en este trabajo y que el sistema de investigación, aquí propuesto, es viable bajo determinadas condiciones.
- La viabilidad de la metodología de investigación de acuerdo con el modelo MOSES aplicada por los investigadores de la Agrupación de Tráfico de la Guardia Civil no puede obviamente ocultar que este camino no está exento de dificultades y problemas, que van desde la recogida de información, especialmente en lo que afecta a las fases de previaje y viaje, hasta el análisis de las causas, que carece de una codificación precisa como en otros modelos, pasando por la reconstrucción técnica basada en datos precisos, claros y concretos. Al contrario de lo que podría parecer estos, y otros, obstáculos no suponen más que una luz que muestra los puntos que deben superarse para establecer líneas de mejora continua que mejoren los resultados obtenidos.

Se ha mostrado que es posible conseguir gran cantidad de datos, con un alto nivel de profundidad, que pueden ser sistemáticamente organizados a lo largo de una investigación sobre un siniestro vial, pero si esa información no es registrada y almacenada adecuadamente y no se permite el acceso a los posibles usuarios e investigadores interesados su posible utilidad científica queda muy devaluada y el esfuerzo realizado deviene infructuoso. En conclusión es necesario diseñar una base de datos que permita al sistema de investigación sobre siniestros viales recopilar la información de las diferentes fuentes originarias de los datos y disponibilizarla de una forma pública, aunque restringida, a las instituciones e investigadores que la necesitan para continuar con los estudios específicos o multidisciplinares correspondientes.





# Capítulo 5

## LA BASE DE DATOS EN PROFUNDIDAD SOBRE ATROPELLOS PEATONES

### I. ESTADO DEL ARTE

Cuando se crea una base de datos (BD) pequeña, utilizada por pocos usuarios, el diseño no resulta muy complicado. Pero cuando se trata de bases de datos medianas o grandes para el sistema de información (SI) de una organización, el proceso de diseño es complejo pues el SI debe satisfacer las necesidades de muchos usuarios diferentes (CIDAUT, 2002, p. 70).

Por poner un ejemplo, que ofrezca una idea de una base de datos de grandes dimensiones se puede decir que el portal Amazon contiene datos de más de veinte millones de libros y otros objetos, en un espacio superior a los 2 terabytes que se encuentran almacenados en más de 200 servidores a lo largo de todo el mundo. Alrededor de quince millones de visitantes acceden a esta base cada día y la utilizan para realizar sus compras. La base de datos es continuamente actualizada con nuevos libros y objetos que son añadidos al inventario y al sistema de almacén con el que se puede realizar la venta. Más de cien personas trabajan para mantener y rediseñar esta base de datos (Elmasri & Navathe, 2014, p. 5).

El ejemplo anterior nos da una idea de la dimensión que puede tener una base de datos en profundidad a nivel europeo, de la cual España sería una parte. Ya existen bases de datos a nivel mundial (IRTAD, 2015) o a nivel europeo (CARE, 2015), pero su nivel de profundidad y su estructura de datos no cubren más que el primer nivel de un sistema de investigación. Como puede deducirse, este tipo de base puede ser concebida, no sin problemas, de forma teórica de acuerdo con una visión ideal, pero su aplicación práctica en la realidad es otro asunto.

#### 1. INTRODUCCIÓN

Una Base de Datos es, simplemente, una colección de datos, almacenados de una forma organizada (Stephen, 2006, p. 2) o, con mayor detalle, es una colección de datos, integrada y generalizada, con su descripción, bajo el control de un determinado Sistema Gestor, de tal forma que pueda satisfacer las distintas necesidades de los usuarios definidos.

Por datos, se entiende cualquier hecho conocido que puede ser registrado y que tiene un significado implícito (Elmasri & Navathe, 2014, p. 4).

Un Sistema de Gestión de Bases de Datos (*Database Management System, DBMS*) es un sistema que se utiliza, principalmente, con dos objetivos: por una parte añadir,

borrar o actualizar los datos en la base de datos y, por otra, facilitar diferentes formas de ver, en pantalla o impresos, los datos en ella contenidos (Roman, 2002, p. 17).

Por lo común, las bases de datos tienen tres niveles básicos de organización, en los cuales se mantiene la información.

- Un primer nivel sería el campo, que es una categoría de información o el lugar donde se almacenan los datos. Así pues, un campo hace referencia a un atributo que es registrado para cada una de las entidades representadas en fichas.
- El siguiente nivel de organización es el registro. Un registro es una colección de campos ya rellenos con datos y que hacen referencia a una entidad u objeto concreto.
- El tercer nivel lo constituye la tabla, concepto por el que se entiende una colección de registros que utiliza cierto conjunto de datos.

En resumen, una base de datos estaría compuesta por una o más tablas, compuestas por múltiples registros, que a su vez contendrían diversos campos.

La arquitectura de una base de datos se basa en tres esquemas, que a su vez pueden ser denominados y definidos como sigue (Elmasri & Navathe, 2014, p. 34):

- El nivel interno tiene su propio esquema, que describe la estructura del almacenamiento físico.
- El nivel conceptual tiene otro esquema, que describe la estructura completa de la base de datos para una comunidad de usuarios. El esquema conceptual obvia los detalles sobre las estructuras físicas de almacenamiento y se concentra en describir entidades, tipos de datos, relaciones, usuarios de operaciones y restricciones. Generalmente, se utiliza un modelo gráfico de datos para describir este esquema.
- El nivel externo incluye varios esquemas externos o visiones de diferentes usuarios. Cada esquema externo describe la parte de la base que interesa a un grupo de usuarios en particular ocultando el resto de la base para ese grupo.

A consecuencia de la delimitación de la materia de esta tesis, no se tratarán ni el nivel interno ni el externo de la base de datos, por lo que solamente se desarrollará la parte conceptual.

El esquema conceptual se representa mediante una serie de diagramas. A través de él se establecen las relaciones o vínculos entre distintas tablas que comparten alguna información. Por este motivo el gráfico utilizado para describir ese esquema conceptual se denomina Entidad/Relación (*Entity Relationship, E-R*).

Un diagrama E-R es una herramienta gráfica para el modelado de datos de un sistema de información, que muestra las entidades relevantes para ese sistema, así como sus interrelaciones y propiedades, y constituye una representación esquemática de una base de datos. De esta forma, el esquema conceptual abstracto puede ser mostrado gráficamente y mantener una independencia conceptual y de diseño con respecto a la implementación de la base, propiamente dicha.

Las bases de datos nos permiten almacenar y gestionar información referida a personas, objetos y, también, eventos. Un siniestro vial constituye una secuencia de eventos en los cuales hay personas y objetos implicados y cuyos datos o atributos son susceptibles de ser almacenados en un sistema de información que soporte una base de datos. En esa Base de datos, cada registro contiene la información de un siniestro vial, mientras que los campos hacen referencia a los atributos o características del hecho, las tablas deben servir para estructurar y relacionar la información sin reiteraciones innecesarias.

## **2. BASES DE DATOS EN PROFUNDIDAD GENÉRICAS**

Un estudio publicado por el Consejo Europeo de Seguridad en el Transporte apuntaba que a comienzos del Siglo XXI, y a pesar de las múltiples competencias que la Unión Europea tenía en la regulación del transporte, no existía una sola base de datos sobre siniestralidad que pudiera cubrir sus necesidades y que sirviera para solventar los vacíos que existían sobre la investigación en profundidad y las causas de las lesiones en siniestros viales (ETSC, 2001, p. 12).

Para cubrir esa necesidad se han multiplicado las iniciativas a nivel nacional para crear bases de datos en profundidad, que han ido añadiendo su metodología y sus datos a sucesivos proyectos europeos que se han ejecutado para alcanzar esa ansiada base de datos europea en profundidad. En Estados Unidos de Norteamérica existe un conjunto de bases de datos, algunas de ellas con el nivel en profundidad, que no serán analizadas en este trabajo porque se considera prioritario analizar con mayor detenimiento el sistema europeo.

### **2.1 Proyecto Stairs**

Este proyecto fue uno de los primeros que identificó la necesidad de contar con una base datos europea en profundidad sobre lesiones en siniestros viales para establecer las prioridades de seguridad a introducir en el diseño de vehículos y poder evaluar la eficacia de la regulación europea sobre la materia.

De hecho, el Proyecto Stairs significó un gran progreso en la definición de la esencia de esa base y de los factores de corrección estadística a introducir en la muestra. Se buscó, a partir de los sistemas de obtención de datos vigentes en varios países, la unificación en un solo protocolo europeo de investigación (Thomas, et al., 2003, p. 7), aunque el éxito fue limitado.

Su amplitud fue considerable porque, gracias a su estructura modular, pretendió abarcar una parte importante de la información que se puede registrar y almacenar en un siniestro vial. Los módulos de datos de los que constaba eran (Vallet, et al., 1999, pp. 25-30):

- General. Permitía realizar una breve descripción del siniestro, de los vehículos y de las víctimas para tener una visión general de los hechos.
- Vehículo. Profundizaba en los detalles relativos al vehículo, tales como tamaño, peso, tipo de estructura,..., que se aplicaban a todo tipo de vehículos desde camiones a motocicletas pasando por los turismos.
- Preimpacto y asientos del vehículo. Se describían las posiciones de los de los ocupantes en los asientos y, también, se detallaba el asiento en sí mismo considerado, así como su diseño y medidas.
- Postimpacto del vehículo. Detallaba los daños y la configuración del vehículo.
- Seguridad pasiva. Describía todos los elementos de protección pasiva, tales como los cinturones de seguridad o los airbags.
- Protección infantil. Este módulo era específico para los elementos de seguridad utilizados por los niños, al objeto de determinar su tasa de uso y su efectividad.
- Intrusión. En este módulo se dejaba constancia de las medidas de la intrusión en el habitáculo a consecuencia de la colisión y servía como indicador del nivel y gravedad de las lesiones.
- Víctimas ocupantes de vehículo. Reflejaba los detalles de la víctimas que, siendo ocupantes de un vehículo, sufrían las consecuencias de una o varias colisiones.
- Motoristas preimpacto y postimpacto. Permitía ver como estos vehículos se comportan en una colisión.
- Datos de víctimas de vehículos de dos ruedas. Era, prácticamente, coincidente con la correspondiente a los vehículos de cuatro ruedas, pero tenía especiales referencias a datos exclusivos de los motoristas, tales como uso del casco o de indumentaria especial de protección.
- Víctimas. Tenía las variables comunes a todos los tipos de víctimas, sea cual fuera su vehículo o el medio de desplazamiento.
- Lesiones. Contenía todas las variables para describir las lesiones ocasionadas a las víctimas a consecuencia del siniestro.

El módulo de datos sobre peatones se trata independientemente por su importancia en esta tesis. Su objetivo era definir los datos específicos que sobre los peatones es necesario tener en cuenta en el conjunto de los registrados en cualquier siniestro vial. Es importante en estos casos tener conocimiento sobre la posición y la forma como son golpeados por los vehículos implicados, en particular en vehículos ligeros, por su posible utilidad a la hora de redactar la normativa de protección. De la misma forma, también,

resulta interesante reflejar la posición y los movimientos del peatón antes del impacto. La trayectoria postimpacto seguida es, fundamental, para la estimación de la velocidad de atropello. Igualmente, es necesario saber si el vehículo estaba frenando en el momento del atropello para comprender como se modifica la altura del parachoques en este caso (Vallet, et al., 1999, p. 31).

Tabla 38: Variables del módulo de datos sobre peatones del proyecto Stairs

Variables	Variables	Variables
Edad	Grosor de las ropas	Niños
Altura	Primer impacto en vehículo	Punto contacto de la cabeza
Peso	Segundo impacto en el vehículo	Punto contacto del tórax
Género	Cinemática del peatón después del primer impacto	Punto contacto de la pelvis
Ayudas a la visión	Volteo	Punto contacto de la pierna
Problemas de movilidad	Comportamiento del peatón preimpacto	Frenada
Alcohol	Dirección del peatón antes del impacto	

## 2.2 Proyecto PENDANT

El proyecto *PENDANT* es la continuación del proyecto STAIRS, a cuyos problemas y cuestiones planteadas pretendió dar solución (Thomas, et al., 2006, p. 1).

Este proyecto incorporó a su base de datos un total de 1.110 casos individuales procedentes de ocho países europeos diferentes. En esa muestra, se intentó que los atropellos a peatones, como una tipología del siniestro vial estuviera representada adecuadamente, pero este objetivo, tan sólo, se consiguió parcialmente.

La metodología de la investigación en este proyecto siguió una evolución secuencial por fases del siniestro vial (Thomas, et al., 2006, p. 6), aunque no tuvo encaje en el diseño de su base de datos, que fue concebida de forma tradicional y modular.

La estructura de esta base de datos contiene los siguientes niveles:

- Siniestro vial.
- Vehículo (exterior, interior y daños).
- Ocupantes.
- Peatones.

Cada archivo de caso contiene información sobre un elevado número de elementos clave para la investigación:

- Detalles del siniestro vial que incluyen un breve resumen y un croquis.
- Daños del vehículo.
- Severidad del siniestro vial.

- Las lesiones ocasionadas a cada ocupante.
- Los elementos que ocasionaron las lesiones.

Prestando atención, tan solo, al nivel de datos sobre los peatones. Después de algunas correcciones, la muestra de atropellos contó con un total de 67 casos, con 69 peatones lesionados por un vehículo, que procedían de los equipos del proyecto distribuidos en seis países europeos diferentes, trece de ellos fueron investigados por el INSIA de la Universidad Politécnica de Madrid (UPM).

La base de datos utilizó de forma descentralizada para la introducción de datos MS-Access, pero posteriormente para poder analizarlos sus datos fueron convertidos a un Sistema de Gestión SIR (*Scientific Information Retrieval*) utilizado en la Universidad de Hannover (Otte & Nehmzow, 2006, p. 4).

### 2.3 Proyecto SafetyNet

En el proyecto SafetyNet, la base de datos independiente en profundidad sobre causas de los siniestros viales tendría como principales aplicaciones el desarrollo de áreas que permitieran la aplicación de nuevas tecnologías y sistemas de seguridad activa, junto a las áreas más tradicionales como pudieran ser las infraestructuras y la propia seguridad vial.

Las variables de la base se dividieron en seis diferentes grupos: las variables generales, los eventos críticos, los factores contribuyentes de los usuarios de la vía, el vehículo, la infraestructura y la organización. No obstante en este proyecto se alcanzó un consenso general sobre la importancia del Evento Crítico y se decidió utilizar el concepto como su estrategia principal (Paulsson, 2005).

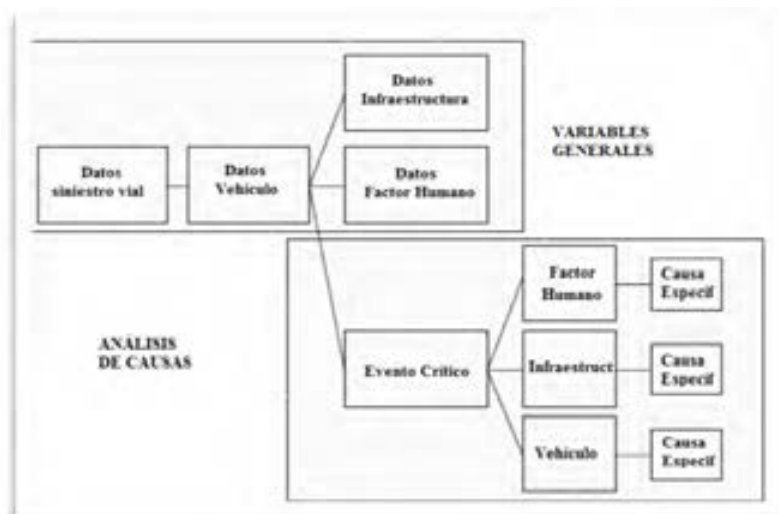


Figura 112: Esquema de la base de datos SafetyNet

Sirva de recordatorio que el proyecto TRACE que buscaba mejorar el análisis de las causas de los siniestros viales, contemporáneo de este, también tenía al Evento Crítico como la base conceptual de su método.



El nivel de detalle de la información registrada consta de 117 variables y más de 500 elementos de datos unidos, lo cual ofrece un resultado considerablemente mayor al dispuesto en las especificaciones de CAREPLUS 2 (Reed & Morris, 2008, p. 5).

## 2.4 Proyecto DaCoTA

El Sistema de investigación en profundidad de siniestros viales del Proyecto DaCoTA se asentaba en dos pilares: por un lado, una aplicación de gestión de base de datos a través de la red (Roma University, 2012) y, por otro lado, un manual de investigación en línea (Chalmers University of Technology, 2013). Hay un nexo directo, en línea, entre cada variable en la base y el manual de investigación, a través del cual se puede obtener más información sobre la variable específica, como medirla y como codificarla.

Cada equipo tiene uno o más accesos a la base de datos y puede introducir los datos de cada siniestro vial investigado de acuerdo con el protocolo DaCoTA.

Los datos de cada siniestro vial se organizan en cuatro niveles distintos: primero, en el nivel de siniestro vial se encuentran los datos generales sobre el hecho incluyendo un resumen del mismo; segundo, en el nivel de medioambiente de la vía se registra toda la información sobre sus condiciones y su geometría; tercero, en el nivel de elementos se incluyen todos los vehículos implicados y, también, los usuarios vulnerables y, finalmente, en el nivel de usuarios de la vía se incluyen los datos de todos los implicados y de las consecuencias que el siniestro ha tenido para cada uno de ellos. Cada registro de un siniestro vial permite almacenar hasta 1500 variables. De la misma forma en cada nivel se pueden almacenar fotografías, videos y archivos. Finalmente, la base de datos también permite registrar los resultados del análisis de la reconstrucción, del mecanismo lesional y del método de determinación de la causalidad DREAM 4.0 (Hill, et al., 2012a, p. 17).



Figura 113: Estructura de datos de la base DaCoTA

Este sistema de información ha sido desarrollado con un doble fin: por un lado, almacenar de una forma armonizada los datos de una investigación en profundidad y, por otro lado, el análisis y el filtro de la información obtenida.

## 2.5 Base de datos en profundidad en España

El proyecto DIANA (Investigación y Análisis de Accidentes de Tráfico) de la Fundación CIDAUT se puso en marcha en Valladolid en el año 2001 con el objetivo de crear, desarrollar y mantener una base de datos en profundidad que el año 2007 contaba con 190 registros. En un primer momento, se consiguió la colaboración del Servicio de Urgencias del Hospital Universitario Río Ortega, después, se sumaron la Dirección General de Tráfico, la Agrupación de Tráfico de la Guardia Civil y la Policía Local de Valladolid y, finalmente, se unieron la empresa Mapfre y el Instituto de Medicina Legal de Valladolid (Seguí-Gómez & Lopez Valdes, 2007, p. 144).

En principio, se utilizó un sistema de información que se fundamentaba en una base de datos centralizada en el Centro de Coordinación con actualización mediante formularios web con conexiones seguras para que personal de cada fuente de datos introdujera la información correspondiente y realizara las consultas pertinentes (CIDAUT, 2002, p. 19).



*Figura 114: Esquema externo de la base de datos*

En base a la Ley Orgánica 15/1999, de 13 de Diciembre, de Protección de datos de carácter personal, parte de la información que se almacenó en la base de datos a través de determinadas variables fue catalogada de carácter sensible. Es por ello, y según establece esta Ley que se deba realizar la declaración de este correspondiente fichero de titularidad privada en la Agencia Española de Protección de Datos.

El conjunto de variables a estudiar por cada siniestro será diferente y estará en función de su configuración. Estas variables se englobarán dentro de cuatro diferentes divisiones, denominadas “informes”, según el elemento que se estudie del siniestro vial (CIDAUT, 2002, pp. 74-80):

- Informe del Siniestro: Formado por alrededor de 50 variables.
- Informe del Vehículo: Formado por alrededor de 220 variables.
- Informe del Ocupante: Formado por alrededor de 90 variables.
- Informe del Peatón: Formado por alrededor de 50 variables.

Como reglas adicionales de este sistema de información, se generará:

- Un único “Informe del Siniestro”.

- Tantos ‘Informes de Vehículo’ como número de vehículos hubiera implicados en el siniestro.
- Tantos ‘Informes de Ocupante’ como número total de ocupantes y conductores hubiera en los vehículos de interés.
- Tantos ‘Informes de Peatón’ como número de peatones heridos hubieran sido atropellados por los vehículos de interés.

A su vez, cada uno de estos informes va a estar dividido en “módulos de variables”, según los campos concretos de análisis. Así pues, la clasificación de las variables de la base de datos va a venir regida por una disposición vertical para cada uno de los informes.



Figura 115: Vista de la base de datos DIANA

El propósito del Informe del Siniestro es proporcionar una visión global rápida del hecho, considerando aspectos genéricos como la tipología, la causalidad o la configuración de los diferentes eventos que se hayan desarrollado en el mismo. Se generará un único informe por cada siniestro vial. Las variables correspondientes a este informe se engloban en cinco módulos, los cuales se detallan a continuación:

- Identificación (IDE). Las variables de este módulo permiten identificar a cada uno de los diferentes siniestros viales registrados, así como el número de vehículos y personas involucradas en cada accidente.
- Situación temporal y espacial. Las variables de este módulo permiten la localización temporal y espacial exacta del hecho.
- Configuración. Las variables de este módulo permiten analizar a grandes rasgos la fatalidad y gravedad del siniestro vial, principalmente desde el punto de vista de las personas implicadas en el mismo y se registran, también, los planos y croquis que representan su desarrollo.
- Eventos. Las variables de este módulo caracterizan el siniestro vial a través de una serie de eventos concatenados, facilitando así su posterior análisis.
- Fotografías. Una variable por cada fotografía digital ilustrativa de la panorámica de la escena y del entorno del siniestro. En estas fotografías, al tratarse de una base de datos privada, no aparecerá ningún dato de carácter identificativo.

El informe del vehículo informe recogerá, en detalle, toda aquella información vinculada directamente con el vehículo. Se generará un informe por cada uno de los vehículos implicados en el suceso, independientemente del tipo del vehículo. Las variables correspondientes a este informe se engloban en diecinueve módulos, que se detallan a continuación:

- Identificación (IDE). Las variables de este módulo registran la tipología del vehículo a estudio.
- Características técnicas. Las variables de este módulo registran las características puramente técnicas de este vehículo.
- Condiciones pre-impacto. Estas especificaciones concretas se registran para cada vehículo debido a que la configuración del entorno es diferente para cada uno de los que puedan estar implicados en el siniestro.
- Pre-impacto conductor. Las variables que componen este módulo proporcionan, en orden cronológico, la secuencia del siniestro desde la óptica del vehículo que se está analizando.
- Reconstrucción. Este módulo muestra la información extraída de la reconstrucción del siniestro vial, así como los datos necesarios para elaborar la misma.
- Incendio y sistema de combustible. Las diferentes variables de este módulo describen, en su caso, la configuración del incendio producido en el vehículo.
- Limpiaparabrisas. Las variables de este módulo detallan la configuración y el estado de los limpiaparabrisas para analizar la influencia de los mismos en el desarrollo del accidente.
- Integridad habitáculo. Se considerará el compartimento de pasajeros como el envoltorio o caja que contiene a los ocupantes y la pérdida de integridad del mismo se considerará como una abertura de magnitud suficiente para que un ocupante pueda ser eyectado total o parcialmente a través de ella. Como esto es difícil de cuantificar, se tomará como mínimo, de una forma aproximada, las dimensiones de la cabeza de una persona adulta.
- Estructura. Las variables de este módulo registran el comportamiento dinámico de cada una de las partes que componen la estructura del vehículo.
- Lunas. Estas variables registran los desperfectos producidos en los cristales de las lunas que se vieron implicadas en el siniestro.
- Neumáticos. Se detalla la tipología, el estado y los desperfectos producidos en los neumáticos que se vieron implicados o que influyeron de alguna manera en el desarrollo del accidente.
- Luces. De la misma forma se registra la tipología y caracterización de las diferentes luces de los vehículos que se vieron implicados o que influyeron de alguna manera en el desarrollo del accidente.
- Intrusiones. En esta lista de variables se utiliza un registro por cada intrusión. Se considera intrusión cuando el límite interior del habitáculo sea desplazado hacia el interior del mismo debido al daño directo o indirecto provocado por la aplicación de las fuerzas de aplastamiento exteriores.
- Columna de dirección, volante y salpicadero. Este módulo registrará la localización y configuración de las diferentes intrusiones que se producen en el vehículo.
- Fotografías. En este módulo se registran todas aquellas fotografías del vehículo y de aquellos componentes del mismo que se estimen necesarias y

aclaratorias de la información recogida en las anteriores variables del Informe del Vehículo.

A través del Informe del Ocupante se almacena toda aquella información referente a los ocupantes de los vehículos, abarcando desde su disposición inicial hasta las lesiones producidas al mismo. Las variables correspondientes a este informe se engloban en nueve módulos, que se detallan a continuación:

- Identificación (IDE). Este módulo es de especial importancia a la hora de poder identificar y realizar un seguimiento del estado de los ocupantes de cada uno de los vehículos.
- Eyección y aprisionamiento. Las variables de este módulo registran si se ha producido eyección o aprisionamiento de este ocupante durante el impacto, así como su configuración.
- Cinturón de seguridad. Estas variables describen las características y el comportamiento de este tipo de sistema de retención en el transcurso del accidente.
- Airbags. Las variables de este módulo describen las características de cada uno de los airbags relacionados con la posición de este ocupante.
- Asiento y reposacabezas. Las variables de este módulo describen la configuración del asiento y del reposacabezas situados en la posición del ocupante a estudio.
- Registros oficiales. Las variables de este módulo registrarán aquellos valores que poseen carácter oficial.
- Lesiones. Este módulo de variables se activa, solamente, en el caso de haberse producido cualquier tipo de lesión en el ocupante estudiado. No hay un límite superior de lesiones a registrar. En el registro de muchas de las variables de este módulo se utilizará el código conocido como escala de lesiones abreviada AIS 90 que es un código breve destinado a la evaluación inicial de la gravedad de los traumatismos por accidentes de tráfico, sin considerar su posterior devenir.
- Fotografías. En este módulo se incluye una variable por cada fotografía digital que se adjunte. En estas fotografías no aparecerá ningún dato de carácter identificativo.

Informe del Peatón. A través de las variables contenidas en este informe, se describe toda la información referente a cada peatón atropellado, abarcando desde su cinemática hasta las lesiones sufridas por el mismo. Las variables correspondientes a este informe se engloban en los seis módulos que se detallan a continuación:

- Identificación (IDE). Este módulo es de especial importancia a la hora de poder identificar y realizar un seguimiento del estado de los peatones.
- Cinemática del peatón. Describe el comportamiento del peatón antes y durante el atropello.
- Registros oficiales. Las variables de este módulo registran aquellos valores que poseen carácter oficial.
- Lesiones. Este módulo de lesiones se activará de la misma forma descrita para los ocupantes.

Habitualmente se utiliza el programa PC-Crash para reconstruir cada caso y obtener los parámetros preimpacto del vehículo, tales como la velocidad o la trayectoria (Seguí-Gómez & Lopez Valdes, 2007, p. 148).

De cara al futuro se ha estudiado, más recientemente en el marco del proyecto DaCoTA, como debería estar constituida una hipotética base de datos en profundidad sobre siniestros viales (Diez Rabanal, et al., 2011, p. 21). Esta base de datos tendrá una estructura organizada en 3 niveles. El nivel superior hará referencia a variables generales del siniestro vial. El nivel intermedio estará dedicado a los vehículos implicados en el suceso. El último de los niveles, el de personas, será en el que se encuentre la información de cada una de las víctimas.

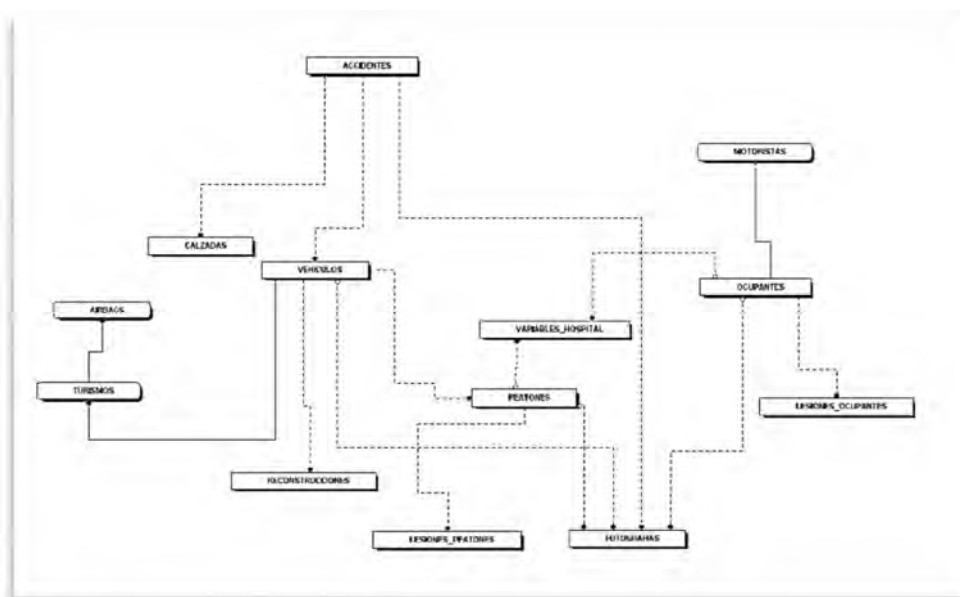


Figura 116: Diagrama Entidad-Relación de la Base de Datos

Además, esta base de datos será desarrollada de forma modular, para permitir el trabajo en paralelo de los técnicos y el personal sanitario. Una vez que un determinado caso haya sido dado de alta en la base de datos, desde el hospital se podrían introducir todos los datos relativos a las lesiones de las víctimas implicadas, mientras que los técnicos podrían introducir en la base de datos la información más directamente vinculada a las características del siniestro vial, tales como el entorno de la vía o el vehículo.

### 3. BASES DE DATOS EN PROFUNDIDAD ESPECÍFICAS SOBRE PEATONES

En este epígrafe se presentará el estado del arte tanto de las bases de datos específicamente diseñadas para atropellos a peatones (Chidester & Isenberg, 2001) como a los módulos de datos dedicados a detallar los atropellos a peatones en las bases de datos en profundidad genéricas (Carter, 2006, p. 5). De la misma forma se realizará un breve recorrido por las iniciativas en esta materia llevadas a cabo en España.

#### 3.1 Estudio PCDS



El estudio PCDS ha sido citado en el Capítulo III al tratar la metodología de la investigación en profundidad. Su objetivo principal fue registrar detalladamente los datos procedentes de la reconstrucción de atropellos en diversas localidades de los Estados Unidos de Norteamérica entre julio de 1994 y diciembre de 1998. La muestra final alcanzó la cifra de 521 casos investigados (Chidester & Isenberg, 2001).

La base de datos PCDS contenía 144 variables con las que se intentaba recoger la información completa sobre el factor humano, el vehículo y el entorno en las tres fases en que se descompuso cronológicamente el siniestro vial.

Tabla 39: Variables por módulos y por tipos de eventos

	Preimpacto	Impacto	Postimpacto
Entorno	11	11	0
Humano	11	16	47
Vehículo	2	11	35

Para las investigaciones de cada uno de los atropellos, la información relativa a los mismos se debe recopilar en una serie de informes habilitados a tal efecto. Estos informes estarán formados por una cantidad de variables que registrarán todo tipo de datos relativos al atropello. A continuación, se detallan cuáles son cada uno de estos informes, así como en qué consisten los mismos y cuáles son sus fuentes:

- Formulario Resumen del Caso (*Case Summary Form*). En él se registra de una manera genérica en qué ha consistido el atropello, detallando la tipología del peatón, así como la del vehículo. La fuente de este informe será el propio equipo de investigación.
- Datos de la escena (*Scene Data*). Se van a detallar las distancias relativas que se han medido en el lugar del accidente y que van a servir para la realización del posterior croquis. Es por ello que sea imprescindible que los equipos de investigación se desplacen al lugar del accidente para recoger esta información.
- Formulario de Evaluación del Peatón (*Pedestrian Assessment Form*). En él se registran sus características, sus movimientos pre-impacto y su orientación preimpacto, así como la información procedente de los registros oficiales recogidos en los informes policiales (alcohol, drogas,...) y se inserta, también, una visión general de las lesiones producidas al mismo. Las fuentes serán varias: informes policiales, equipos de investigación, registros médicos de los hospitales a los que han sido trasladadas las víctimas y entrevistas.
- Formulario de Lesiones del Peatón (*Pedestrian Injury Form*). En este informe se detallan todas las lesiones del peatón, esto es, para cada una de ellas se detallará su localización, su tipología, la fuente que ha diagnosticado esa lesión y el componente del vehículo que origina la lesión. Lógicamente, la mayoría de los valores de estas variables van a ser facilitados por los hospitales.
- Formulario General del Vehículo (*General Vehicle Form*). En él se detallan las características del vehículo (marca, modelo, Número de bastidor,...),



registros oficiales procedentes de informes policiales (velocidad de circulación del vehículo, test de alcohol, test de drogas,...), pesos, datos pre-impacto (movimiento pre-impacto del vehículo, maniobras,...), datos de la reconstrucción (velocidad de impacto,...) y datos del entorno (flujo de tráfico, número de carriles, tipos de superficie, condiciones atmosféricas,...).

- Formulario Exterior del Vehículo (*Exterior Vehicle Form*). Se registrarán dimensiones de las diferentes partes exteriores del vehículo (neumáticos, anchura y longitud de la parte trasera y delantera,...), localización de cada una de las partes del vehículo que contacta con el peatón así como las dimensiones de las deformaciones en las mismas. Todas las medidas que se realicen en el vehículo van a tener al equipo de investigación como fuente.
- Formularios de Entrevistas (*Interview Forms*). Registran los datos de determinados cuestionarios que se realizarán tanto al peatón como al conductor. Mediante las preguntas realizadas al peatón se obtendrá una información mayor acerca de su comportamiento antes del atropello, además se delimitarán las partes del automóvil que contactaron con él en el momento del impacto. Los cuestionarios realizados al conductor aclararán dudas acerca de la velocidad a la que circulaba el vehículo, las maniobras que realizó antes del atropello, la procedencia original o no de cada una de las piezas dañadas en el atropello, el movimiento del peatón antes del atropello y la localización de los diferentes impactos del peatón en el vehículo. El equipo de investigación, una vez que se desplace al lugar de los hechos, realizará estas entrevistas a las personas disponibles en ese momento. Por otra parte será el Hospital el que se encargue de realizarlas para los casos en los que el equipo de investigación no haya podido hacerlo previamente.

### 3.2 Aprosys

En el proyecto Aprosys se dedicó una parte del esfuerzo a desarrollar una base de datos sobre los Usuarios Vulnerables de la Vía, concepto en el que se englobaba tanto a ciclistas como a peatones. La información estaba volcada hacia la biomecánica del impacto y a la interacción de las diferentes partes del cuerpo del peatón con las piezas y partes del vehículo.

La estructura de la base de datos, realizada en principio en un programa comercial de uso extendido, constaba de tres tablas (Carter, 2006, p. 5):

- Tabla peatón
- Tabla lesiones
- Tabla contactos en el vehículo

La tabla principal es la que se denomina peatón, que consta de un mayor número de variables.

Tabla 40: Variables de la tabla peatón del proyecto Aprosys

Variable	Descripción	Variable	Descripción
Referencia de caso		Interacción vehículo/peatón	ninguno, impacto con parabrisas, volteado, lanzado
Hora siniestro		Orientación del peatón en el impacto	
Fecha siniestro		Condición superficie	
Severidad global	Mortal, grave, leve	Pendiente vía en POI	(grados) sentido ascendente o descendente
Género		Gráfico vehículo	muestra puntos de contacto
Edad		Fotografías vehículo	mostrando la deformación del contacto
Altura		Gráfico del escenario	
Peso		Descripción escenario	descripción del escenario del siniestro
Marca vehículo		Descripción de lesión	descripción general de todas las lesiones observadas
Modelo vehículo		Gráfico de lesiones	visión frontal y trasera del cuerpo humano con las lesiones representadas en símbolos
Año vehículo	Año fabricación	ISS	Puntuación de la Severidad de las Lesiones
Velocidad vehículo	(m/s) estimada impacto	MAIS	Puntuación Máxima de las Lesiones Abreviadas (1-6)
Deceleración frenada	(m/s <sup>2</sup> ) o bien no frenó	Momento muerte	Si es aplicable
Velocidad peatón	(m/s) según acción		
Dirección peatón	Según agujas reloj		

Realmente la entrada de datos se realiza a través de un formulario diseñado al efecto, que consta de una pantalla principal y de una serie de pantallas adicionales que se despliegan a través de un menú de pestañas. Permite introducir gráficos, croquis y fotografías.

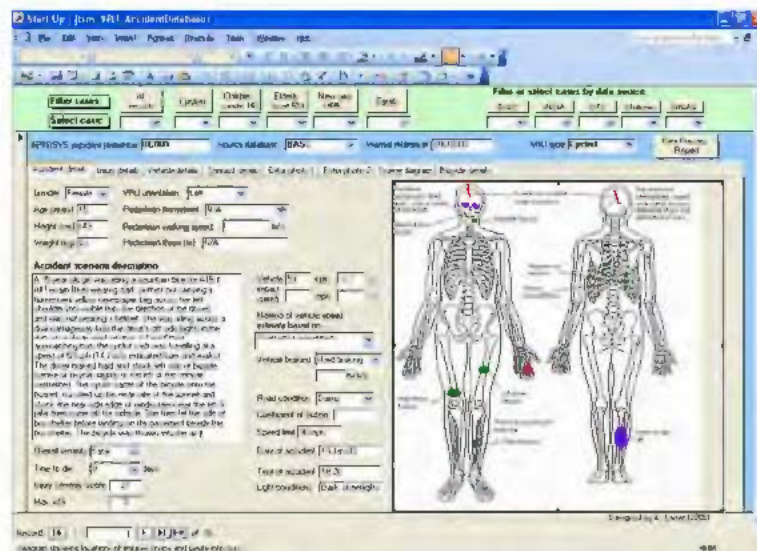


Figura 117: Vista de la base de datos de Aprosys

A partir de la tabla principal se describen otras dos, la dedicada a las lesiones y la que atiende a los contactos con el vehículo, que constan de las siguientes variables:

Tabla 41: Tablas derivadas dedicadas a la lesión y a los contactos en el vehículo

Tabla Lesión		Tabla de contactos en el vehículo	
Variable	Descripción	Variable	Descripción
Referencia de caso		Referencia de caso	
Referencia lesión		Referencia punto de contacto	01,02,... única para cada caso
Contacto vehículo relacionado		Lesión relacionada	01,02,... única para cada caso
Descripción de las lesiones	Mortal, grave, leve	WAD	(cm) distancia de envolvimiento longitudinal al punto de contacto
Fuente de la información		Lateral	(cm) medida lateral del eje del vehículo al punto de contacto
Descripción lesión AIS		Profundidad deformación	(cm) máxima profundidad del punto de contacto
Puntuación severidad AIS	Mortal, grave, leve	Parte del vehículo impactada	Parabrisas, capó, borde anterior del capó, parachoques, protector de faros, pilar A, techo
Parte del cuerpo		Lateral del cuerpo contacto	Frontal, trasero, izquierdo y derecho
		Parte del cuerpo contacto	Cabeza, tronco, pelvis, rodilla, hombro, mano, superior pierna e inferior pierna.

En un diagrama de relaciones se vería que a cada lesión, o a aquellas en la que este determinado, le corresponde un punto de contacto en el vehículo y a cada deformación o punto de contacto en el vehículo le corresponde una o varias lesiones que se han producido a consecuencia de ese contacto.

### 3.3 Bases de datos en profundidad sobre peatones en España

Con los datos recabados en el proyecto Abida del INSIA y en el estudio en profundidad de atropellos en Barcelona llevado a cabo por IDIADA se alimentaron bases de datos propias sobre este tipo de siniestros viales, que además fueron aprovechados como casos reales para ser aportados, parcialmente, a los proyectos europeos cuyas bases de datos han sido tratadas arriba.

Estos dos centros de investigación se unieron, en 2009, a Centro Zaragoza bajo la coordinación de SERNAUTO para llevar a cabo un estudio en profundidad de atropellos a peatones a nivel nacional.

Como resultado del proyecto se dispuso de una base de datos conjunta de 139 atropellos reales ocurridos en casco urbano. Dicha base de datos recoge una amplia información del vehículo, de la persona atropellada (variables antropomórficas, codificación de lesiones), del escenario-vía en el que se ha producido el atropello y de la cinemática del mismo. Su estructura es muy semejante a la de los proyectos europeos, que ya han sido analizados, por lo que no se tratara en mayor detalle para evitar innecesarias reiteraciones.

## 4. RELACIONES ENTRE EL SISTEMA DE INVESTIGACIÓN Y LA BASE DE DATOS

La metodología de la investigación de siniestros viales es una materia que de forma constante aparece como fundamental en todos los proyectos llevados a cabo para conseguir alcanzar un nivel en profundidad a nivel europeo. Así, viendo la definición de



pasos a seguir en el proyecto Stairs (Vallet, et al., 1998, p. 1299), reflejado en la Figura 118, puede entenderse el inescindible nexo que une la metodología y la estructura de la propia base de datos.



*Figura 118: Aspectos a desarrollar en el proyecto STAIRS para construir una base de datos en profundidad*

De la misma forma en el Proyecto SafetyNet uno de los principales objetivos a alcanzar era desarrollar una metodología que pudiera ser utilizada para recoger los datos de los siniestros viales. En octubre de 2004, se llegó a realizar un encuentro de trabajo bajo el título “Estableciendo los requisitos para una nueva Base de Datos Europea en Profundidad sobre las causas de los siniestros viales” que fue seguido por una “Conferencia de Expertos Nacionales” en el que se intentó definir tanto los objetivos de la base de datos como de las variables que debían configurar su contenido (Reed & Morris, 2006).

A veces las limitaciones sobre los datos no vienen, directamente, de la metodología propia seguida por los investigadores especializados en siniestros viales, sino de la participación en ese complejo proceso de otros profesionales e investigadores dentro del más amplio concepto de sistema de investigación. Así, por ejemplo desde el comienzo de los esfuerzos por estructurar esa base de datos europea se llamó la atención sobre el hecho de que en determinados Estados Miembros de la Unión Europea se habían implementado las rutinas y protocolos forenses, propuestos por las instituciones europeas, en todos los supuestos de muertes inesperadas y, también, se hizo hincapié sobre la importancia que tienen los datos de esos informes de autopsia y análisis postmortem en el análisis de las causas de los siniestros viales donde ha resultado muerta alguna persona (Thomas, et al., 2003, p. 7), sin embargo no se ha conseguido la necesaria uniformidad en todos los países en la aplicación de esos protocolos, de la estandarización en los datos y de la universalización de la codificación de esas causas.

Los protocolos forenses o los de los propios hospitales, los sistemas de revisión periódica de vehículos y otras fuentes complementarias de datos sobre siniestros viales son llevados a cabo de forma dispar en cada país europeo e, incluso, dentro de nuestro propio país las variaciones geográficas pueden llegar a introducir diferencias de cantidad y calidad en estos y otros aspectos relativos a la información necesaria para constituir esa base de datos.

De la misma forma que la estructura de la base de datos tiene que estar necesariamente vinculada a la metodología de investigación debería estarlo también con el modelo que se utilice de siniestro vial y de su causalidad, sin embargo en este caso los proyectos europeos no lo han considerado unánimemente necesario. Si se vuelve la vista atrás en esta tesis y se consulta la Figura 113 se observará que el proyecto DaCoTA incluye el método DREAM de análisis de las causas y, recientemente la base de datos alemana GIDAS ha implementado el modelo ACASS en siete pasos como soporte de su análisis de las causas de los siniestros viales.

De la misma forma la iniciativa para desarrollar la base de datos y su titularidad son factores determinantes en su estructura, en los datos que puede contener y en la forma de almacenarlos. Los regímenes jurídicos mixtos público-privados se han apoderado de la investigación, en general, y de esta parte específica, en particular, pero generalmente para aprovechar los datos públicos para introducirlos en bases de titularidad y uso privado o, cuando menos, restringido. Bajo el paraguas de una supuesta independencia en la investigación se han fomentado este tipo de actuaciones y proyectos en toda Europa, salvo raras excepciones, como por ejemplo Finlandia en que sucede prácticamente lo contrario, ya que son las compañías aseguradoras las que financian los centros de investigación que soportan la coordinación en la recopilación de los datos sobre siniestros viales. El modelo europeo y, también el español, del sistema de investigación de siniestros viales debería ser público en su titularidad y abierto en su uso a todas las instituciones, públicas o privadas, que pueden utilizar los datos para hacer evolucionar todos los elementos del sistema vial en forma de reducción de la siniestralidad y la lesividad de los siniestros viales.

## **II. BASE ESPAÑOLA DE DATOS AVANZADA SOBRE SINIESTROS VIALES (BEDAS)**

La base de datos pública sobre siniestros viales que, actualmente, existe en España está amparada en la Orden INT/2223/2014, de 27 de octubre, por la que se regula la comunicación de la información al Registro Nacional de Víctimas de Accidentes de Tráfico. La principal base de datos pública sobre siniestros viales en España es ARENA que ha sido analizada con detenimiento en el epígrafe siguiente y que debería ser tenida en cuenta para formular una teórica base de datos en profundidad pública a desarrollar en España.

Las bases de datos privadas en profundidad sobre siniestros viales son el fruto de los proyectos de investigación nacionales e internacionales llevados a cabo en nuestro país y sus datos no son, con carácter general, accesibles al resto de instituciones, universidades y empresas.

### **1. BASE DE DATOS ARENA**

En la Orden INT/2223/2014 se dispone que la Dirección General de Tráfico (DGT) es la encargada de la coordinación de la estadística sobre siniestros viales, para lo cual ha ido incorporando sistemas de gestión informática de datos con el objetivo de automatizar los procesos de almacenamiento, gestión y explotación de los datos.

En el año 2005, con el objetivo de integrar los servicios de información sobre siniestros viales y los sistemas informáticos que les daban soporte, se abordó un proceso de renovación que permitía reunir funcionalidades dispersas e integrarlas en un sistema único, que recibió el nombre de ARENA (Accidentes: REcogida de iNformación y Análisis), que trabajaba en conjunto con otras aplicaciones satélite, también, coordinadas por la DGT.

Entre los años 2008 y 2010 la Universidad de Valencia a través de un proyecto financiado por la DGT desarrolló una evolución del sistema anterior que se denominó ARENA II, en la cual se avanzaba en la integración de fuentes de datos diversas en un sistema de almacenamiento único y en su posible explotación por usuarios previamente definidos.

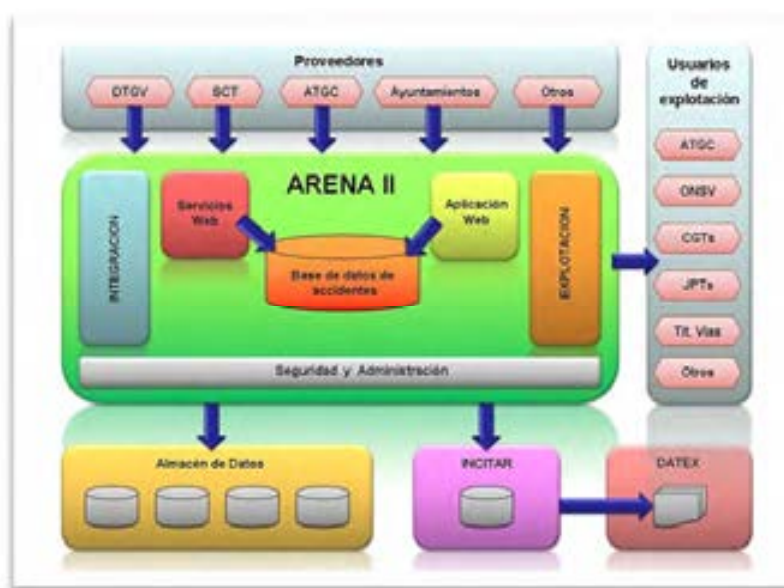


Figura 119: Estructura de la Base de Datos ARENA II

Es importante resaltar que ARENA es un sistema de recogida y consulta de datos y que no realiza, directamente, la explotación de la información estadística. Esto se debe a que la información consultable en ARENA está viva hasta que se realizan los procesos de verificación y consolidación, es decir, es susceptible de ser modificada por los usuarios.

Para realizar una explotación de datos conjunta para todo el territorio nacional ha sido necesario realizar la tarea de homogeneización de la información de las diferentes fuentes llevándola a un diccionario común de datos, proceso imprescindible para poder elaborar la estadística nacional. En 2006, la DGT creó para llevar a cabo este proceso el subsistema CIAT (Concentrador de Información de Accidentes de Tráfico), que tiene como objetivos:

- Integrar toda la información de siniestros viales en un único repositorio desde el que se puedan hacer las explotaciones de datos que se deseen, es decir, incorpora toda la lógica necesaria para la integración de datos de las diversas fuentes. Estamos hablando de un modelo de datos único y un diccionario de

datos compartido en base a los cuales se describen todos los accidentes y que contempla las variables que vienen determinadas por la normativa citada.

- Facilitar a los usuarios la explotación de datos y la ejecución de consultas sobre datos integrados y consolidados.

La base de datos CIAT se utiliza principalmente para tareas de explotación y análisis de datos y es accesible para los usuarios designados por la DGT. Dada la variedad de usos que se le puede dar a la información contenida en CIAT, el sistema se ha diseñado para ofrecer vistas personalizadas para diferentes perfiles de usuarios, de forma que con una misma fuente de datos se puede satisfacer diferentes necesidades

Es muy interesante que la DGT, en la definición del proyecto ARENA II, mantiene como una futura evolución del sistema la introducción de datos procedentes de los Ministerios de Justicia, Fomento y de las Comunidades Autónomas con competencias en la materia, así como de las Compañías de Seguros.

El diccionario de términos, los datos a introducir en la base de datos y su estructura interna pueden consultarse en la Orden Ministerial INT/2223/2014 y en su manual de contenidos (Dirección General de Tráfico, 2013, pp. 11-81). Este debe ser el punto de partida de cualquier base de datos que desde lo público pretenda integrar datos en profundidad sobre siniestros viales.



Tabla 42: Variables definidas en la base de datos ARENA II

Información relativa a la ubicación del accidente, su localización, número de implicados, tipo de accidente, condiciones en el momento del accidente y características de la vía.			
Apartado 1) Ubicación temporal		Apartado 4) Tipo de accidente y circunstancias	
2 1 1 FECHA ACCIDENTE		2 4 1 TIPO DE ACCIDENTE	
2 1 2 HORA DEL ACCIDENTE		2 4 4 CIRCULAR EN SENTIDO CONTRARIO	
		2 4 5 NIVEL DE CIRCULACIÓN	
		2 4 6 SUPERFICIE DEL FIRME	
		2 4 7 ILUMINACIÓN	
		2 4 8 ESTADO METEOROLÓGICO	
		2 4 9 NIEBLA	
		2 4 10 VIENTO FUERTE	
		2 4 11 VISIBILIDAD RESTRINGIDA POR	
Apartado 2) Localización		Apartado 5) Características de la vía	
2 2 1 PROVINCIA DE OCURRENCIA DEL ACCIDENTE		2 5 1 CARACTERÍSTICA FUNCIONAL DE LA VÍA	
2 2 2 MUNICIPIO DE OCURRENCIA DEL ACCIDENTE		2 5 2 LÍMITE DE VELOCIDAD	
2 2 3 ISLA DE OCURRENCIA DEL ACCIDENTE		2 5 3 VELOCIDAD	
2 2 4 POBLACIÓN DE OCURRENCIA DEL ACCIDENTE		2 5 4 SENTIDOS DE LA VÍA	
2 2 5 ZONA		2 5 5 NÚMERO DE CALZADAS	
2 2 6 TIPO DE VÍA		2 5 6 ANCHURA DE CALZADA	
2 2 7 CARRETERA		2 5 7 N° TOTAL DE CARRILES	
2 2 8 KILÓMETRO		2 5 8 ANCHURA DEL CARRIL	
2 2 9 TITULARIDAD DE LA VÍA		2 5 9 ACERA	
2 2 10 SENTIDO DEL ACCIDENTE		2 5 10 ANCHURA ACERA	
2 2 12 CÓDIGO INE DE LA CALLE		2 5 11 ARCEN	
2 2 13 CALLE		2 5 12 ELEMENTOS DE BALIZAMIENTO	
2 2 14 NÚMERO DE LA CALLE		2 5 13 ELEMENTOS DE SEPARACIÓN DE SENTIDOS	
2 2 15 LONGITUD		2 5 14 BARRERA DE SEGURIDAD	
2 2 16 LATITUD		2 5 15 ELEMENTOS DEL TRAMO	
2 2 17 NUDO/INTERSECCIÓN		2 5 16 TRAZADO EN PLANTA	
2 2 18 INFORMACIÓN DEL NUDO		2 5 17 TRAZADO EN ALZADO	
2 2 19 CRUCE CON		2 5 19 MARCAS VIALES	
2 2 20 CALLE QUE CRUZA		2 5 20 CARACTERÍSTICAS DEL MARGEN	
2 2 21 CÓDIGO INE DE LA CALLE QUE CRUZA		2 5 21 CIRCUNSTANCIAS ESPECIALES DE LA VÍA	
2 2 22 CARRETERA QUE CRUZA		2 5 22 DELIMITACIÓN DE LA CALZADA	
2 2 23 REGULACIÓN DE PRIORIDAD			
Apartado 3) Número de implicados			
2 3 1 NÚMERO DE FALLECIDOS 24 HORAS			
2 3 2 N° DE HERIDOS CON INGRESO SUPERIOR A 24H			
2 3 3 N° DE HERIDOS CON ASISTENCIA SANITARIA INFERIOR O IGUAL A 24H			
2 3 4 N° ILESOS			
2 3 5 TOTAL VÍCTIMAS			
2 3 6 N° VEHÍCULOS IMPLICADOS			
2 3 7 N° DE CONDUCTORES			
2 3 8 N° DE PASAJEROS			
2 3 9 N° DE PEATONES			
Información relativa a los Vehículos Implicados			
Apartado 1) Información general sobre el vehículo		Apartado 2) Circunstancias del vehículo	
3 1 1 VEHÍCULO SIN CONDUCTOR		3 2 1 NÚMERO DE OCUPANTES	
3 1 2 CÓDIGO DE VEHÍCULO		3 2 2 VEHÍCULO FUGADO	
3 1 5 MATRÍCULA		3 2 3 VEHÍCULO INCENDIADO	
3 1 6 FECHA MATRICULACIÓN		3 2 4 DISCO TACÓGRAFO	
3 1 8 NACIONALIDAD		3 2 5 LECTURA TACÓGRAFO	
3 1 9 TIPO DE VEHÍCULO		3 2 6 VELOCIDAD FINAL	
3 1 10 MMA		3 2 7 EL CONDUCTOR HA RESPETADO EL DESCANSO DIARIO REGLAMENTADO	
3 1 11 MARCA		3 2 8 EL CONDUCTOR HA SUPERADO EL NÚMERO DE HORAS DE CONDUCCIÓN CONTINUADA	
3 1 12 MODELO		3 2 9 EL CONDUCTOR HA SUPERADO EL NÚMERO DE HORAS DE CONDUCCIÓN DIARIAS, SEMANALES O BISEMANALES	
3 1 13 ITV		3 2 10 HORAS DE CONDUCCIÓN CONTINUADA	
3 1 14 SEGURO OBLIGATORIO		3 2 11 AIRBAG DISPARADO	
3 1 17 REMOLQUE		3 2 12 HACIA USO DEL ALUMBRADO REGLAMENTARIO	
3 1 18 SEMIRREMOLQUE		3 2 13 TRANSPORTE ESPECIAL	
3 1 19 CARAVANA		3 2 14 ÁREA MÁS DAÑADA DEL VEHÍCULO	
3 1 20 OTROS		3 2 15 POSICIÓN RESPECTO A LA VÍA	
3 1 21 MATRÍCULA (SEMIRREMOLQUE/CARAVANA)	REMOLQUE	3 2 16 APROXIMACIÓN AL NUDO	
3 1 31 ANOMALÍAS PREVIAS		3 2 17 SENTIDO DE CIRCULACIÓN	
3 1 32 VEHÍCULO ADAPTADO		3 2 18 POSICIÓN EN LA CALZADA	
3 1 33 MERCANCÍAS PELIGROSAS		3 2 19 POSICIÓN EN EL CARRIL	
		3 2 20 MANIOBRA DEL VEHÍCULO PREVIA AL ACCIDENTE	
		3 2 22 LUGAR POR EL QUE CIRCULABA EL VEHÍCULO	

Información relativa a los Conductores Implicados	
Apartado 1) Información general sobre el conductor	Apartado 2) Datos del permiso
4 1 1 CÓDIGO DE VEHÍCULO 4 1 2 DOI 4 1 3 TIPO DE DOCUMENTO 4 1 5 PRIMER APELLIDO 4 1 6 SEGUNDO APELLIDO 4 1 7 FECHA DE NACIMIENTO 4 1 8 SEXO 4 1 11 NACIONALIDAD 4 1 12 RESIDE EN ESPAÑA 4 1 13 PROVINCIA DE RESIDENCIA 4 1 14 MUNICIPIO DE RESIDENCIA 4 1 15 ISLA DE RESIDENCIA 4 1 16 POBLACIÓN DE RESIDENCIA 4 1 17 PAÍS DE RESIDENCIA 4 1 18 LESIVIDAD 4 1 19 HOSPITAL AL QUE SE TRASLADA 4 1 20 NO CONTABILIZABLE POR	4 2 3 CARACTERÍSTICAS DEL PERMISO 4 2 4 CLASE DE PERMISO DE CONDUCIR 4 2 5 FECHA DE EXPEDICIÓN DEL PERMISO 4 3 3 ACCESORIOS DE SEGURIDAD 4 3 4 OTROS ACCESORIOS DE SEGURIDAD 4 3 5 PRUEBA DE ALCOHOL 4 3 6 PRUEBA DE DROGAS 4 3 7 MOTIVO DEL DESPLAZAMIENTO 4 3 8 DESPLAZAMIENTO PREVISTO 4 3 9 ACCIÓN ESPECIAL DEL CONDUCTOR 4 3 10 PRESUNTAS INFRACCIONES DEL CONDUCTOR 4 3 14 PRESUNTAS INFRACCIONES DE VELOCIDAD 4 3 15 OTRA INFRACCIÓN 4 3 17 POSIBLE RESPONSABLE DEL ACCIDENTE 4 3 18 FACTORES QUE PUEDEN AFECTAR A LA ATENCIÓN 4 3 19 PRESUNTOS ERRORES
Información relativa a los pasajeros Implicados	
Apartado A) Datos personales	Apartado B) Circunstancias
5 1 1 CÓDIGO DE PASAJERO 5 1 2 CÓDIGO DE VEHÍCULO 5 1 3 DOI 5 1 4 TIPO DE DOCUMENTO 5 1 5 NOMBRE 5 1 6 PRIMER APELLIDO 5 1 7 SEGUNDO APELLIDO 5 1 8 FECHA DE NACIMIENTO 5 1 9 SEXO 5 1 12 NACIONALIDAD 5 1 13 RESIDE EN ESPAÑA 5 1 14 PROVINCIA DE RESIDENCIA 5 1 15 MUNICIPIO DE RESIDENCIA 5 1 16 ISLA DE RESIDENCIA 5 1 17 POBLACIÓN DE RESIDENCIA 5 1 18 PAÍS DE RESIDENCIA 5 1 19 LESIVIDAD 5 1 20 HOSPITAL AL QUE SE TRASLADA 5 1 21 NO CONTABILIZABLE POR	5 2 4 ACCESORIOS DE SEGURIDAD 5 2 5 OTROS ACCESORIOS DE SEGURIDAD 5 2 6 POSICIÓN EN EL VEHÍCULO 5 2 7 NIÑO EN BRAZO AQUÍ ME QUEDO 5 2 8 ACCIÓN ESPECIAL DEL PASAJERO
Información relativa a los peatones Implicados	
Apartado A) Datos personales	Apartado B) Circunstancias
6 1 1 IDENTIFICADOR DE PEATÓN 6 1 2 DOI 6 1 3 TIPO DE DOCUMENTO 6 1 5 PRIMER APELLIDO 6 1 6 SEGUNDO APELLIDO 6 1 7 FECHA DE NACIMIENTO 6 1 8 SEXO 6 1 11 NACIONALIDAD 6 1 12 RESIDE EN ESPAÑA 6 1 13 PROVINCIA DE RESIDENCIA 6 1 14 MUNICIPIO DE RESIDENCIA 6 1 15 ISLA DE RESIDENCIA 6 1 16 POBLACIÓN DE RESIDENCIA 6 1 17 PAÍS DE RESIDENCIA 6 1 18 LESIVIDAD 6 1 19 HOSPITAL AL QUE SE TRASLADA 6 1 20 NO CONTABILIZABLE POR	6 2 3 ACCESORIOS DE SEGURIDAD 6 2 4 ACCESORIOS DE SEGURIDAD OPCIONALES 6 2 5 PRUEBA DE ALCOHOL 6 2 6 PRUEBA DE DROGAS 6 2 7 MOTIVO DE DESPLAZAMIENTO 6 2 8 ACCIÓN DEL PEATÓN PREVIA AL ACCIDENTE 6 2 9 PRESUNTAS INFRACCIONES DEL PEATÓN 6 2 10 DELITO CONTRA LA SEGURIDAD VIAL 6 2 11 POSIBLE RESPONSABLE DEL ACCIDENTE 6 2 12 FACTORES QUE PUEDEN AFECTAR A LA ATENCIÓN 6 2 13 PRESUNTOS ERRORES
	Apartado B) Factores
	6 2 14 FACTORES DEL PEATÓN QUE INFLUYEN EN EL ACCIDENTE

## **2. ESTRUCTURA TEÓRICA DE BEDAS**

La búsqueda de la estructura ideal de una base de datos en profundidad pretende encontrar la solución al principal problema planteado en esta tesis sobre cómo se deberían registrar, almacenar y recuperar los datos obtenidos a lo largo de cada una de las investigaciones sobre siniestros viales que puedan desarrollar unidades de investigación en el marco de un sistema de investigación y tratamiento de esos datos.

La pregunta a contestar a lo largo de este epígrafe queda formulada de la siguiente forma, ¿Cuál es la estructura ideal de una base de datos en profundidad?, cuya respuesta no resulta ni sencilla ni clara, ya que una de las características que definen cualquier sistema de investigación de siniestros viales es su inmensa complejidad.

### **2.1 Estructura externa**

Resulta evidente que lo ideal en un sistema de investigación de siniestros viales que aporta datos a una estructura de almacenamiento de información es que se haga realidad el principio del dato único, es decir, que no se duplique o triplique la introducción del mismo dato en diferentes sistemas informáticos que no tienen interconexión entre ellos.

En este aspecto ARENA II ha supuesto un avance con respecto a su antecesor, pero todavía queda mucho camino por recorrer.

Uno de los puntos críticos, a primera vista, se encuentra en la recopilación y codificación de los datos sobre lesiones que deberían ser introducidos tanto para los muertos, como para los heridos graves y leves. El problema radica en que las lesiones de las personas fallecidas son recogidas por los Médicos Forenses que trabajan para el Ministerio de Justicia, pero cuyos sistemas informáticos son competencia material de las Comunidades Autónomas correspondientes, mientras que los heridos son atendidos y sus lesiones recogidas en la historia clínica registrada en el Hospital o centro sanitario al que son trasladados, aunque en el caso que el siniestro vial se judicialice, también, intervienen los Médicos Forenses.

La denominación y codificación de las lesiones, según uno u otro sistema internacionalmente aceptado, es otro problema ya que unos hospitales utilizan un sistema diferente al AIS y los Médicos Forenses no utilizan, con carácter general, ningún sistema de registro, archivo y codificación de las lesiones de las personas fallecidas y heridas que atienden.

Lo mismo podría argumentarse sobre los valores históricos y los antecedentes de averías y defectos de los vehículos siniestrados que constan en las estaciones de ITV donde fueron sometidos a inspección o de la configuración de diseño, ejecución y mantenimiento de la carretera o vía urbana donde se produjo el siniestro vial.

En este sistema ideal no puede dejarse de echar una mirada a las base de datos de los países nórdicos, así en Suecia, Noruega y Dinamarca comparten sus experiencias en la materia en base a su estructura de equipos conjuntos de personal de diversos Ministerios e Instituciones, como por ejemplo sucede en la base de datos sueca STRADA. Por el contrario, Finlandia articula su sistema en base a un consorcio constituido por las

Compañías de Seguros con la integración de datos procedentes de la policía, la administración de carreteras y los institutos de revisión de los vehículos.

El secreto teórico del éxito de una base de datos sobre siniestros viales, más allá de la labor de los investigadores de la policía, se encuentra en la interconexión con otras bases de datos públicas (Hospitales, Centros Sanitarios, Administración de Justicia, Fomento, ITV, Universidades, Carreteras,...) y privadas (Compañías de Seguros, centro sanitarios, fundaciones,...).

Sin embargo, el objetivo de esta tesis no es tanto conseguir determinar cómo deberían establecerse esas futuras conexiones, a pesar de ser completamente necesarias, sino cual es la línea de investigación para la mejora de la estructura interna de la base de datos de tal forma que pueda considerarse que se ha alcanzado el nivel en profundidad.

## **2.2 Estructura interna**

La información obtenida en una investigación sobre un siniestro vial puede estructurarse de acuerdo a diferentes criterios: por un lado, se puede registrar de acuerdo con la fase de la investigación donde se obtienen, calculan o deducen los datos; por otro lado, se pueden almacenar los datos según se relacionen con los subsistemas que conforman el sistema vial y, por otro lado, se puede clasificar la información atendiendo a su encaje en el modelo de siniestro vial considerado.

La metodología de investigación utilizada debe ser la brújula que oriente completamente la base de datos con una filosofía clara, lo que se debe almacenar en el sistema es lo que el propio sistema de investigación puede obtener y generar. Como ventaja de este criterio de estructuración, se puede afirmar que permite adecuar la información almacenada a la secuencia lógica de adquisición de los datos a lo largo de la investigación. En primer lugar se introducirían los datos sobre el propio evento (hora, lugar, día, día de la semana,...), a continuación los datos obtenidos en la inspección técnico ocular de la escena del siniestro (mediciones, identificación de las víctimas, de los conductores, de los peatones, de los testigos, los vehículos implicados y las circunstancias de la vía), para seguir con la información adicional que puede obtenerse, directamente (daños detallados vehículos, pruebas de frenada, grabación de video,...) o, indirectamente (lesiones, pruebas de alcoholemia y drogas en sangre,...). Los datos de la reconstrucción pueden calcularse o deducirse para obtener como colofón las causas. Los bloques de esta estructura serían primero, investigación en la escena; segundo, investigaciones adicionales; tercero, reconstrucción técnica y, finalmente, las causas del siniestro vial.

La principal desventaja de este criterio, máxime si se adopta una perspectiva sistémica, es la desconexión existente entre los datos obtenidos, así por ejemplo con una base estructurada con este criterio, dar respuesta a cómo influye el diseño del vehículo en la lesividad de los ocupantes o de los peatones sería una misión difícil de conseguir. Además la programación de esta base sería realmente difícil de realizar porque no se adapta a los actuales paradigmas que se utilizan en estas tareas.

Si el criterio elegido es atribuir cada dato al subsistema correspondiente de los que conforman el sistema vial se obtienen cuatro bloques diferentes que, evidentemente, serían el factor humano (conductores, peatones, testigos,...), el subsistema tecnológico



(vehículos implicados y las tecnologías que utilizan en seguridad activa y pasiva), el subsistema estructural (la vía y su entorno) y el subsistema sacionormativo, que es a veces olvidado, cuando su protagonismo es claro a la hora de adoptar medidas preventivas. La gran ventaja de este criterio es que el que mejor se adapta a la programación orientada a objetos en la aplicación informática que se elija.

Esta que es quizás la forma tradicional de organizar las bases de datos sobre siniestros viales tiene como desventaja su desconexión tanto del modelo elegido de siniestro vial, como de las capacidades de las metodologías de investigación utilizadas y de la determinación de las causas. Estos problemas se observan en los proyectos europeos que se han analizado a lo largo de esta tesis, por una parte se observan aquellos que se han centrado en la obtención de datos avanzados y estandarizados sobre las víctimas o sobre los vehículos implicados y en otro bloque de proyectos se pueden ver los que se han focalizado en el estudio de las causas de los siniestros viales. Tan solo recientemente algunas bases de datos en profundidad han procurado unir ambos aspectos, tal como ha hecho GIDAS al introducir el modelo ACASS de análisis de causas.

El tercer criterio de estructuración de variables en la base de datos lo constituye el propio modelo MOSES del siniestro vial. En este caso la estructura es matricial, en las columnas se colocan las fases cronológicas de evolución de los eventos del siniestro vial y en las filas los subsistemas del sistema. Tiene como gran ventaja que permite atribuir cada variable a un subsistema, pero también sirve para relacionar la variable con una de las fases definidas.

Como desventajas de este criterio pueden citarse, en primer lugar, la dificultad de programar esta estructura en un sistema de gestión de datos y, en segundo lugar, que no se adapta a la metodología de investigación propuesta, por lo que la introducción de los datos requiere un protocolo específico de adaptación.

La solución para esa estructura ideal puede adoptarse diferenciando los datos, su registro, su almacenaje y su recuperación para posteriores análisis o estudios específicos. El registro puede estructurarse perfectamente a través de pantallas de entrada acordes a la metodología de la investigación y con una clasificación secundaria de acuerdo con el subsistema al que pertenezca la variable. El almacenamiento interno debe adaptarse a la programación orientada a objetos y, por lo tanto, cada variable deber ser atribuida a uno de los subsistemas. Por último, la recuperación de los datos en formato de informe se puede estructurar de forma flexible acorde a la metodología de la investigación, en las dos primeras fases de la metodología con el criterio secundario del subsistema al cual este atribuida la variable y, en las dos segundas, con el criterio cronológico del modelo MOSES.

### **3. PUNTO DE PARTIDA REAL DE BEDAS: EL MODULO DE PEATONES**

La base de datos BEDAS puede ser una realidad, tanto porque tiene como soporte un sistema de investigación aplicado por las Unidades de Investigación y Reconstrucción de la Agrupación de Tráfico de la Guardia Civil, como porque los veinte casos de atropellos a peatones expuestos en el Capítulo VI permiten comprobar que a día de hoy el diseño realizado es viable.

No obstante hay que ser realista y reconocer que el módulo de atropello a peatones de BEDAS, en realidad, es una maqueta a escala de lo que debería ser realmente una base de datos avanzada que permitiera registrar, almacenar y recuperar investigaciones en profundidad con una dimensión adecuada. Además, para que el sistema de investigación propuesto en esta tesis pudiera ser viable debería sustentarse en un marco institucional estable que permitiera la coordinación e interconexión de bases y de fuentes de alimentación primarias de información.

En todo, caso la estructura del módulo de atropello a peatones tiene una tabla maestra dedicada al siniestro vial, cuyo número de identificación sirve de unión con las tablas del factor humano, del vehículo, de la vía y el factor siconormativo. La relación es de uno a varios con el factor humano y el vehículo, o sea, para un mismo siniestro puede haber múltiples conductores, peatones, usuarios y testigos o varios vehículos. En cambio la relación es uno a uno con la vía y con la normativa aplicable.



Figura 120: Estructura interna de datos del módulo de la base de datos

A partir de esas tablas principales se bifurcan tablas derivadas ligadas a la primera por diferentes variables que sirven de nexo. De la tabla factor humano surgen diferentes tablas una para cada conductor de un vehículo, para cada peatón atropellado, para cada usuario de la vía implicado o para los testigos del siniestro vial. En un tercer nivel aparece la tabla de lesiones donde se anota cada una de las sufridas por cada conductor, usuario o peatón.

De la inspección del vehículo surge la tabla daños que tiene tantos registros como partes o piezas han resultado afectadas por el impacto. Como ejemplo de los análisis avanzados que pueden hacerse con los datos de esta base, se puede observar que existe un nexo entre las lesiones de los peatones, en este caso, y las partes del vehículo que las han ocasionado, lo cual es comprobado a través de la simulación informática.

A continuación se insertan las variables, no incluidas en ARENA II (Accidentes: Recogida de Información y Análisis), que constan en este módulo de atropellos a peatones clasificadas de acuerdo con el modelo matricial de MOSES, lo cual permite hacerse una idea de para qué fase y subsistema puede utilizarse cada variable en su análisis.

Tabla 43: Variables y datos a introducir en el sistema de base de datos

Subsistema	Prevía	Viaje	Preimpacto	Impacto	Postimpacto
<b>Factor Humano</b>	Num. conductor Edad conductor Altura conductor Peso conductor Antig. permiso Restric. permiso Núm. peatón Edad peatón Altura peatón Altura cdg. peatón Peso peatón Causas Peatón Núm. Causas Conductor Núm.	Estado peatón (P): Vestimenta P. Evento crítico (EC): Fotografía EC: Causas Peatón Núm. Causas Conductor Núm.	Prenda alta vis (P) Vel. Desplaz. (P) Acción peatón : Acción evasiva: Veh. frenando: Causas Peatón Núm. Preimpacto: Percepción Intelección Evaluación Volición Ejecución Observaciones causas peatón Núm. Causas (C) Núm. Preimpacto: Percepción Intelección Evaluación Volición Ejecución Observaciones	Graf. Posic. impacto: Datos entrada (P): Gráf. PC-Crash (P): Datos entrada secuencia: Gráfico PC-Crash secuencia: Distancia de proyección (m): Vv impacto (m/s) (Km/h): Gráfico PC-Crash salida: Capturas de pantalla (15 ms): Gráfico PC-Crash salida: Gráfico daños vehículo Código tipología atropello: Descripción tipología atropello: Archivo hoja MOSES Gráfico hoja MOSES	Pruebas alcoh. (C). Pruebas drogas (C). Cons. lesivas (C): Manifestación (C). Pruebas alcoh. (P). Pruebas drogas (P). Manifestación (P). Núm. testigo: Testimonio: Condiciones: PF_peatón PF_conductor Cons. Lesivas (P): Núm. víctima: Código numérico: Parte afectada: Descripción: Cód. AIS abrev.: Gráfico lesiones: Tray. postimpacto: Gráf. lesiones (P): Descripción resultados simulación daños/lesión Aceleración cabeza: Aceleración torso: Aceleración pelvis: Aceleración pierna: Gráfico PC-Crash valores aceleración: PF vehículo Loc. Neumático Marca neumát. Modelo neumát. Código neumát. Estado neumát. Prof. dibujo (mm) Pres.(bar) neumát. Núm. vehículo Código daño Zona daño Descripción daño Gráfico daños Restos biológicos (P) Fot. Evidencias (P)
<b>Vehículo</b>	Núm. vehículo: Marca Modelo Tipo Cilindrada Potencia Fiscal ABS Otras ayudas Datos geométricos Grafico 3D Daños vehículo Causas Veh. Núm	Núm. vehículo: ITV: Cilindrada (cc): Pot. fiscal (cvf): Plazas: ABS: Otras ayudas: Peso vacío (kg) Batalla (m): Longitud (m): Vía Ant (m): Voladizo Ant. (m): Modelo: Anchura (m): Altura (m): Vía Post (m): Voladizo Post (m): Graf. geometría veh. Causas Veh. Núm	Causas Veh. Núm. Preimpacto: Observaciones	Velocidad vehículo método empírico: Gráfico método empírico: Observaciones método empírico: Hoja calculo modelos físicos: Hoja calculo modelos estadísticos: Datos entrada vehículo: Gráfico PC-Crash vehículo:	



Subsistema	Previaje	Viaje	Preimpacto	Impacto	Postimpacto
Vía		Ruta	Luminosidad: Condiciones atm Visibilidad: Estado circulac Grabación video: Fecha: Hora: Gráfico grabación: Observac Grab Pruebas frenada: Acelerómetro: Núm prueba: Coef Rozam ( $\mu$ ) Velocidad (km/h) Tiempo frenad (s) Dist frenado (m) Coef Rz Med ( $\mu$ ) Coord PF (P) (m): Dist Proy (S) (m): Fotografía PF (P): Observ PF peatón: Coord PF veh núm Dist POI a PF veh Fotografía PF: Observ PF vehículo Coord PPP (m): Dist POI a PPP (m): Fotografía PPP: Observaciones PPP: Coord PPR (m): Dist POI a PPR (m): Fotografía PF: Coordenadas PED (m): Distancia POI a PED (m): Fotografía PED: Observaciones PED: Coordenadas PNE (m): Distancia POI a PNE (m): Fotografía PNE: Observaciones PNE: Análisis PPP y PPR: Análisis PPR y PED: Análisis PED y POI: Análisis PPP y PNE: Causas Vía: Trazado: Semáforo: Otras: Observaciones causas vía:	Denominac vía Tipo vía Número vía: Localidad vía: Termino Munic Partido Judicial Provincia: Longitud: Latitud: Zona de vía: Titularidad: Fotografía situac Trazado: Pendiente (%): Anch plataforma: Anch carril dcho: Anch carril izdo: Anch calzada: Anch de arcenes: Acerado dcho: Acerado izdo: Bordillo: Observac vía: Gráfico de la Vía Firme: Estado firme: Superficie: POI coord (m): Fotografía POI: Observaciones POI: Datos entrada Vía: Gráf PC-Crash vía:	Objetos del peatón: Gráfico objetos (P) Huellas de neumát Restos del vehículo: Fotografía posición: Sist de medición: Punto de Referencia: Punto de Ref adic: Gráfico croquis:
Socio-normativo			Normativa (P): Normativa (C): Lim Velocid gen Lim Velocid esp Código señal vert Descrip señal vert Fot Pos Señal vert Denom señal horz Descrip señal horz Fot Pos Señal horz	Paso de peatones: Reg senafórica: Obligatoriedad elementos retrorreflectantes:	Causas normativa (P) Causas normativa (C) Observaciones causas factor sicionormativo

El modelo de informe de este módulo de la base de datos que se adjunta como Anexo I no es más que la aplicación del modelo MOSES a la metodología de investigación propuesta en esta tesis y, que de facto, concuerda con la que aplican las Unidades de Reconstrucción de Siniestros Viales de la Guardia Civil. La cantidad y calidad de la información expuesta en este informe permiten definir la base de datos como avanzada y, sin duda, su nivel de análisis permite clasificarla como base de datos en profundidad sobre investigaciones de siniestros viales, aunque en este caso la muestra este reducida a casos de atropellos a peatones.

#### 4. POSIBLES UTILIDADES DE BEDAS

La investigación de un siniestro vial por parte de la Policía Judicial tiene como primera utilidad servir para poner en marcha la maquinaria de la Administración de Justicia que permitirá que se diriman las responsabilidades penales y, en su caso, civiles de los implicados y se restituyan los derechos de las víctimas o se indemnicen sus pérdidas y secuelas.

La base de datos BEDAS no puede tener, salvo declaración expresa en la Orden Ministerial que defina el correspondiente fichero, utilidad para la investigación judicial de hechos penales, ya que para esta finalidad existen bases de datos policiales en el ámbito del Ministerio del Interior o la propia base de datos judiciales sobre antecedentes penales bajo la responsabilidad del Ministerio de Justicia.

Al contrario de los que piensan que deben mantenerse de forma estanca las investigaciones de la Policía Judicial y las realizadas por otras instituciones, y los datos obtenidos por otros órganos de la Administración o por instituciones vinculadas a la prevención o a las consecuencias de los siniestros, BEDAS apuesta por integrar los datos de las investigaciones de las Unidades de Investigación y Reconstrucción de la Guardia Civil con los aportados por otros en el marco del sistema de investigación propuesto en esta tesis.

Las posibles utilidades que, sin ánimo de ser exhaustivo, pudiera tener la base de datos BEDAS una vez que fuese definida y desarrollada en la realidad serían las siguientes:

- Desarrollo de los planes estratégicos de seguridad vial. Las decisiones sobre los objetivos a conseguir y las líneas de actuación a seguir podrían asentarse en un doble sistema, por un lado, cuantitativo a través de la explotación masiva de datos básicos y, por otro lado, cualitativo utilizando un análisis en profundidad de una o varias tipologías de siniestros viales. Por ejemplo, los objetivos estratégicos relativos a la disminución de víctimas de atropello podrían dividirse, a nivel estratégico u operacional, en objetivos intermedios que permitan diferenciar ámbitos y escenarios de actuación (travesía, vías urbanas, vías interurbanas, pasos de peatones,...) o grupos de riesgo (personas de edad avanzada, menores, ...).
- La adopción de medidas preventivas es la utilidad directa de cualquier base de datos sobre siniestros viales, pero una base de datos avanzada permitiría hacerlo con una fundamentación científica mucho mayor. Por una parte, las investigaciones avanzadas permiten adoptar medidas específicas para solucionar el malfuncionamiento de alguno de los elementos del sistema vial en un escenario concreto en el que han sucedido uno o varios casos de una misma tipología. Por ejemplo, en el ejemplo expuesto en esta tesis la implantación de una regulación semafórica en el paso de peatones palió el problema de una forma significativa. Además, se pueden adoptar decisiones sobre posibles reformas normativas de una manera razonada en base a argumentos basados en el análisis de la información disponible. La coordinación de la normativa vigente con una adecuada educación y cultura

de seguridad desde la infancia permite obtener niveles de seguridad vial cada vez mayores. Por ejemplo, convenciendo u obligando a los peatones, a pesar de disponer de la prioridad de paso, a detenerse en el borde del acerado antes de entrar en un paso de peatones y esperar a que los vehículos estén parados otorgándoles realmente esa prioridad de paso.

- El desarrollo de proyectos específicos de explotación de bases de datos avanzadas sobre siniestros viales puede permitir avanzar en la evolución de las medidas de seguridad activa y pasiva de todo tipo de vehículos y ayudaría a mejorar el diseño de la vía y las barreras de seguridad y otro equipamiento de la vía.
- La potenciación de la investigación aplicada en el marco más amplio de las políticas I+D+I permitirían a las instituciones y empresas españolas mejorar y aumentar su competitividad en todos los campos relacionados con el sistema vial (industria automovilística, nuevas tecnologías de control y vigilancia del tráfico, obras públicas,...).

En cualquier caso, hay que remarcar que un mejor conocimiento del siniestro vial, como fenómeno considerado, capitalizaría la cultura de seguridad de una sociedad civil, siempre necesitada de mantener las cotas de bienestar y protección conseguidas, objetivo nada fácil de conseguir de forma constante a lo largo del tiempo.

## **5. PROBLEMAS Y DIFICULTADES**

En un afán de mirar más allá, se pretende hacer ahora un modesto ejercicio de prognosis para determinar cuáles pudieran ser, a priori, los problemas a solucionar y las dificultades a vencer para conseguir que BEDAS pudiera ser creada, mantenida y desarrollada en el tiempo con objetivos más amplios y estables.

### **5.1 Recursos humanos**

En cualquier proyecto, tarea o actividad el factor humano es el principal activo, por este motivo, en lo que respecta al personal de las unidades de investigación de los cuerpos policiales con competencias en materia de seguridad vial, es necesario alcanzar un equilibrio cualitativo y cuantitativo entre los objetivos a alcanzar y el personal dedicado a ello.

Una base de datos como BEDAS requeriría una ampliación de las Unidades de Investigación y Reconstrucción de la Agrupación de Tráfico de la Guardia Civil, al menos para conseguir una distribución provincial, y la creación de Unidades similares en los Cuerpos de Policía Local, al menos en las principales ciudades españolas.

Los investigadores de esas unidades policiales deben constituir, además de una verdadera Policía Judicial que preste al ciudadano un servicio eficaz y eficiente, una policía que aplique los principios, la metodología y los sistemas de análisis científicos. Esto requiere formación básica en materia de seguridad, una especialización en investigación de siniestros viales y seguridad vial y una formación continua que permita a través de la gestión del conocimiento mantener niveles cada vez más altos de preparación para su aplicación en la investigación y reconstrucción de siniestros viales.

La Universidad como institución básica de la enseñanza superior en nuestro país debe gozar de un papel primordial, en una o varias etapas de esa formación continua, de forma coordinada con los centros de perfeccionamiento de las Fuerzas y Cuerpos de Seguridad específicos en materia de seguridad, entre ellos, la Escuela de Tráfico de la Guardia Civil.

Se ha insistido que la base de datos, apenas diseñada, no puede gozar de continuidad y estabilidad sino se consigue una verdadera coordinación entre todas las instituciones, órganos, fundaciones, ONG,s e, incluso, empresas privadas que son fuentes primarias de datos sobre siniestros viales o sobre las víctimas de siniestros viales. Esa coordinación por disposición del artículo 5.ñ) del Real Decreto Legislativo 339/1990, de 2 de marzo, por el que se aprueba el texto articulado de la Ley sobre Tráfico, Circulación de Vehículos a Motor y Seguridad Vial, la debería ejercer el Ministerio del Interior, a través de la Dirección General de Tráfico, sin olvidar el papel que tienen los órganos colegiados de apoyo y asesoramiento o los de coordinación a nivel autonómico y local.

Esa coordinación no será posible sin la creación de una red de Centros Científicos de Referencia en materia de investigación, atención y asesoramiento que abarquen todos los elementos que confluyen en un siniestro vial, desde el ser humano y su comportamiento pasando por el vehículo y la vía, por donde circula, hasta llegar al marco siconormativo y que además cubran todos las fases de un siniestro vial, desde la prevención pasando por la atención inmediata y la investigación de responsabilidades hasta el cuidado y la recuperación de las víctimas en el periodo posterior al siniestro. Esos centros pueden aportar ideas, iniciativas y proyectos que utilicen la base de datos como punto de partida pero que sirvan para retroalimentar la metodología de la investigación y mejoren su diseño y su contenido. De facto, se han dado pequeños y tímidos pasos en esta dirección con el Plan de Investigación 2013-2016 de la Dirección General de Tráfico y los Encuentros con Investigadores Nacionales sobre Movilidad y Seguridad Vial, en base a lo determinado en la Orden INT/864/2014, de 21 de mayo, por la que se establecen las bases reguladoras de la concesión de ayudas para la investigación, desarrollo e innovación en materia de tráfico, movilidad y seguridad vial, pero aún queda un largo camino por recorrer.

Finalmente, el conocimiento científico debe generar riqueza y bienestar a todas las sociedades a nivel europeo e incluso mundial. Esto puede conseguirse por una parte, si los graduados y postgraduados pudieran llevar a cabo proyectos de investigación utilizando como datos de partida los informes y tablas disociadas de la base de datos avanzada y, por otra parte, pudieran realizar prácticas de investigación en esta materia para obtener un conocimiento de primera mano de lo que realmente es un siniestro vial y poder mejorar de esta forma las competencias aplicadas de estas personas al intentar entrar al mercado de trabajo en una economía globalizada.

## **5.2 Recursos materiales**

Los recursos materiales necesarios para llevar a cabo las investigaciones de las Unidades de Investigación y Reconstrucción de la Agrupación de Tráfico de la Guardia Civil y mantener la base de datos en profundidad con la información procedente de sus investigaciones no son excesivos, máxime si se compara con otras alternativas propuestas por otros investigadores o con algunos proyectos puestos en marcha, desgraciadamente sin éxito.

La necesidad más perentoria y, también, más onerosa viene dada por la necesaria aplicación de nuevas tecnologías, tanto en la fase de investigación y procesamiento de la escena de los hechos como en la fase de investigaciones adicionales e, incluso, en la de reconstrucción técnica de los hechos. En la primera, por ejemplo, esta aplicación vendría de la mano de la adquisición de algún escáner tridimensional de realidad virtual y, en la segunda, mediante la realización de inspecciones técnicas extraordinarias, mediante la ampliación de inspección al sistema electrónico del vehículo y, además, dotando a los investigadores policiales de la posibilidad de extraer la información que debería obligarse a almacenar en el bus de datos de todos los vehículos en circulación. Finalmente, en la fase de reconstrucción técnica se necesita contar con las licencias de los programas informáticos y con sus actualizaciones e, incluso, con la posibilidad a medio plazo de ampliarlos dando cabida a modelos avanzados de multicuerpos o de elementos finitos. En este punto, hay que observar que si bien es verdad que las nuevas tecnologías permiten obtener una mayor cantidad de datos e información y mejoran los procesos de análisis para obtener resultados en menor tiempo y con un menor coste, tienen como hándicap que aumentan las necesidades de formación y especialización de los investigadores que deben usarlos.

La creación y el mantenimiento de una Red de Centros Científicos de Referencia sobre el siniestro vial no es una tarea fácil y requiere esfuerzos, tanto financieros como materiales y, lo que pudiera ser aún más difícil, conseguir las voluntades concurrentes para conseguirlo. La inversión en investigación sobre el siniestro vial de la Dirección General de Tráfico ha alcanzado un importe global máximo de 1.518.000 euros en 2014 y de 1.438.684 euros en 2015.

Una afirmación repetida por muchos, pero todavía lejos de la realidad española, es aquella que dice que la inversión constante en investigación, además de necesaria, constituye el futuro de cualquier país desarrollado. No por mucho repetirlo se va a convertir en realidad, es necesario creerlo y llevarlo a la práctica.

Las bases de datos de los organismos, instituciones y empresas que intervienen en la prevención, investigación y atención a las consecuencias de un siniestro vial son muchas y variadas, por lo que los problemas para conseguir su interconexión en red serían no solo de índole económica y técnica, sino incluso legal, y en este último caso derivadas, principalmente, de la necesidad de cumplir con los requisitos de la normativa de protección de datos.

### **5.3 Protección de datos**

La Ley Orgánica 15/1999, de 13 de diciembre, de Protección de Datos de Carácter Personal establece diferentes regímenes jurídicos para una base de datos de titularidad pública y para una de titularidad privada. Su Capítulo II se encuentra dedicado a los “Ficheros de titularidad privada” que deben ser inscritos en un registro de la Agencia Española de Protección de Datos y que tienen que cumplir una serie de requisitos para poder prestar servicios de información y ceder esos datos a terceros, así como para proceder a su explotación económica.

Por el contrario, su artículo 20 dispone que la creación, modificación o supresión de los ficheros de las Administraciones públicas sólo podrán hacerse por medio de

disposición general publicada en el “Boletín Oficial del Estado” o Diario oficial correspondiente.

Una base de datos de titularidad pública tiene un régimen jurídico más favorable para la cesión y utilización de los datos entre diferentes administraciones, siempre que una norma con rango de ley lo permita, y además la gestión de los datos debe hacerse de acuerdo con las buenas prácticas recomendadas por las instituciones europeas y en el marco de transparencia adoptado por el Gobierno español y el resto de las administraciones públicas. Por ejemplo, en principio con el marco jurídico actualmente vigente, no existiría problema alguno para la comunicación y cesión de datos sobre lesiones por parte de los Hospitales, Centros Sanitarios y Clínicas Forenses a la Dirección General de Tráfico para su integración en una base de datos. Tampoco existe inconveniente para que esta información se facilite a las Unidades de Investigación de la Agrupación de Tráfico de la Guardia Civil y, en su caso, al resto de cuerpos con competencia en la materia.

De la lectura de la Ley se concluye que para ceder los datos sobre siniestros viales a personas jurídicas o físicas, públicas o privadas, sin autorización de una norma con rango de ley, los datos deben someterse, previamente, a un procedimiento de disociación. De acuerdo con la letra f) del artículo 3 de esta Ley, un procedimiento de disociación es todo tratamiento de datos personales de modo que la información que se obtenga no pueda asociarse a persona identificada o identificable.

Para la mayoría de los proyectos de investigaciones aplicadas tanto en la Ingeniería Mecánica como en la Ingeniería Vial, los datos necesarios para profundizar en aspectos concretos de mejora del vehículo o de la vía no incluyen datos personales, por lo que si desde el origen la base de datos cuenta con una información avanzada no existe problema legal para su utilización en forma de tablas disociadas o de informes tipo como el incluido en esta tesis como Anexo I.

## **6. CONCLUSIONES**

Al final de este Capítulo conviene mirar atrás y establecer una serie de conclusiones a las que se ha llegado a lo largo de su contenido sobre la base de datos en profundidad.

- Una base de datos y su correspondiente sistema de información presenta una complejidad en su diseño, creación y mantenimiento que es proporcional a las dimensiones de la organización o institución a la que pretende dar servicio, de las personas que la alimentan, mantienen o explotan y de la variedad y número de usuarios finales.
- Las definiciones y niveles sobre bases de datos, en general, son aplicables al diseño de una base de datos avanzada sobre siniestros viales. De los tres niveles utilizados en su diseño se ha desarrollado el esquema conceptual, con una mayor focalización en el módulo dedicado al atropello a peatones, no se ha tratado el nivel interno y se ha tratado, parcialmente, el nivel externo.
- Una base de datos avanzada permite almacenar en cada registro la información correspondiente a cada siniestro vial, individualmente considerado, mientras que los campos hacen referencia a los atributos o

características del hecho y las tablas deben servir para estructurar y relacionar estos datos sin reiteraciones innecesarias.

- Las bases de datos genéricas de estas características a nivel europeo han sido desarrolladas por diversos proyectos de investigación multinacionales y multidisciplinarios, que van desde STAIRS hasta DACoTA pasando por PENDANT o SAFETY NET. Unos intentaron estandarizar los protocolos de obtención y el registro de datos sobre siniestros viales, mientras que otros buscaron determinar métodos para la determinación de sus causas. En la mayoría de estos proyectos hubo participación de instituciones, universidades e investigadores españoles.
- En España, la base de datos en profundidad DIANA ha sido creada con la intención de permanecer en el tiempo e incluso de servir para una hipotética base de datos más amplia. La estructura de la base y sus informes son una magnífica referencia para el diseño de otra u otras bases en profundidad.
- Las bases de datos en profundidad, o los módulos específicos dedicados a los atropellos a peatones en bases mayores, permiten perfilar que esta tipología de siniestros necesita una importante cantidad de datos concretos debido a su gran complejidad. En España el proyecto coordinado por SERNAUTO reunió en una sola base de datos 139 casos de atropellos a peatones ocurridos en los cascos urbanos de Madrid, Barcelona y Zaragoza.
- La metodología de la investigación utilizada en el marco de un sistema de investigación marca tanto el diseño de la base de datos como sus limitaciones cualitativas y cuantitativas. El modelo que se adopte para idealizar el siniestro vial debe tenerse en cuenta, de una u otra forma, para que la información almacenada en la base permita realizar análisis individualizados y masivos de siniestros viales de acuerdo con el modelo predefinido.
- La base de datos ARENA II es actualmente el pilar del sistema estadístico de la Dirección General de Tráfico. Una mirada a su configuración normativa y a su contenido permite concluir que debe ser la base de partida realista de una base de datos en profundidad, o en otras palabras, su contenido debe ser integrado en esta.
- La Base de Datos Avanzada sobre Siniestros Viales (BEDAS) es una visión de una posible manera de configurar una hipotética base de datos pública sobre investigaciones en profundidad de siniestros viales en España. Su estructura teórica es un equilibrio entre el deber ser, una perspectiva utópica o a largo plazo, y el ser, lo que realmente puede plantearse a día de hoy.
- La solución para esa estructura ideal puede adoptarse diferenciando los datos, los procedimientos para su obtención, su registro, su almacenaje y su recuperación para posteriores análisis o estudios específicos.
- Las posibles utilidades de BEDAS son, principalmente, las cuatro siguientes: primero, el desarrollo en base a datos científicos de los planes estratégicos de seguridad vial; segundo, la adopción de medidas preventivas, directas, a cada



caso analizado o, indirectas, para una tipología concreta de siniestros viales; tercero, el desarrollo de proyectos específicos que utilicen como materia prima los datos de esta base para profundizar el análisis o desarrollar productos finales y, cuarto, la potenciación de la investigación en nuestro país en el marco de la política I+D+I.

- La creación y desarrollo de BEDAS no estaría exenta de problemas y dificultades, entre ellos, los que tienen que ver con los recursos humanos y materiales y el cumplimiento de la normativa europea y española de protección de datos personales.
- El principal problema para aumentar la capacidad de investigación y reconstrucción que puede servir de soporte a la base BEDAS es la formación del personal investigador en base a los principios de especialización y mejora continua. La coordinación de las fuentes externas originarias de datos y la gestión de los usuarios científicos finales de los datos podría convertirse en una tarea ardua y farragosa.
- La opción por una base de datos en profundidad sobre siniestros viales de titularidad pública encaja favorablemente en la normativa de protección de datos, así por ejemplo permite la cesión de datos entre órganos, instituciones y administraciones, si lo dispone una norma con rango de ley y, previa disociación de los datos personales, los informes de la base pueden ser utilizados por los usuarios de la comunidad científica para proyectos o investigaciones en esta materia.
- Realmente lo que se define en esta tesis no son las variables básicas de BEDAS, que ya se ha dicho que se encuentran en ARENA II, ni tampoco el módulo completo de variables aplicable a todo tipo de siniestros viales, sino que se diseña un módulo específico de la base de datos aplicable a los casos de atropellos a peatones.
- Los criterios de la estructura interna del módulo específico de atropellos a peatones de BEDAS servirían para toda la base, aunque obviamente el número de variables a definir y registrar sería mayor.
- La información contenida en el módulo de atropellos a peatones de BEDAS tiene una amplitud y una calidad que permite calificarla de avanzada con respecto a la realidad actual de ARENA II y la metodología de investigación propuesta en conjunción con el modelo definido pueden aportar un nivel de datos comparable a cualquier investigación, a nivel europeo, llevada a cabo sobre siniestros viales.

En el siguiente capítulo, se irá un paso más adelante probando con casos reales de atropello si la metodología de la investigación ofrece suficientes datos para aplicar el modelo de siniestro vial definido y se comprobará si los datos contenidos en el módulo correspondiente de la base de datos y su modelo de informe permiten realizar análisis estadísticos y comparativos en profundidad de este tipo de siniestros.



## Capítulo 6

# VALIDACIÓN DE LA BASE DE DATOS EN PROFUNDIDAD CON CASOS REALES

## I. ANÁLISIS DE CASOS REALES DE ATROPELLOS A PEATONES

Una vez se ha definido la estructura de la base de datos es necesario comprobar si la metodología real de investigación actual permite obtener los datos que previamente se han considerado imprescindibles.

### 1. FUENTES DE DATOS

La fuente de datos de estos casos reales serán las dos Unidades de Investigación y Reconstrucción de Siniestros Viales de la Agrupación de Tráfico de la Guardia Civil. Por un lado, el DIRAT que tiene como sede la Escuela de Tráfico de la Guardia Civil de Mérida (Badajoz) y, por otro lado, el ERAT que tiene su base en el Área de Operaciones de la Jefatura de la Agrupación de Tráfico en Madrid.

El acceso a los datos sobre investigaciones de atropellos a peatones fue autorizado, previa petición por escrito, con la limitación de publicación de los datos personales que pudieran encontrarse en cada uno de los casos utilizados, de acuerdo con lo dispuesto en la Ley Orgánica 15/1999, de 13 de diciembre, de Protección de Datos de Carácter Personal.

De hecho los datos publicados en esta tesis sobre siniestros viales, en general, y sobre los veinte casos utilizados para comprobar la viabilidad del diseño de la base BEDAS han sido sometidos a un proceso de disociación contemplado en la letra f) del artículo 3 de la Ley Orgánica 15/1999 de modo que la información técnica de carácter científico no puede asociarse a persona identificada o identificable alguna.

### 2. ELECCIÓN DE LA MUESTRA

El criterio de elección de los casos a incluir en el análisis de este trabajo es simple, se debe tratar de un atropello a uno o varios peatones, cualesquiera que sean las partes del vehículo y de las circunstancias en las cuales se produzca el impacto con el cuerpo de la persona.

Se ha utilizado como criterio auxiliar para elegir los casos a incluir, la cronología inversa, por eso se ha dado prioridad a los más próximos en el tiempo a la realización de este trabajo, porque la evolución de la metodología de trabajo de las Unidades de

Investigación ha ido permitiendo perfeccionar tanto la cantidad como la calidad de la información recogida y además mejorar las herramientas teóricas e informáticas de reconstrucción técnica del atropello y, por lo tanto, hacer una análisis cada vez más profundo de las causas de los mismos.

La muestra contiene veinte supuestos de atropello tanto en vías urbanas, como interurbanas y travesías, a lo largo de la geografía española, pero con una cierta concentración en las provincias limítrofes a las localizaciones de las dos Unidades de Reconstrucción citadas.

No era objetivo de esta tesis, ni podía serlo, conseguir una muestra de investigaciones en profundidad que fuera representativa estadísticamente del conjunto de casos de atropellos ocurridos en España, ya sea anualmente o lo largo de un periodo de tiempo superior.

### **3. PRESENTACIÓN DE LOS CASOS REALES**

En total se han analizado veinte casos, investigados desde el 2008 hasta el 2014, aunque alguno sucedió con anterioridad a estas fechas. A continuación se realiza una presentación resumida de cada uno de estos casos:

- Caso 20122201 DIRAT. Siniestro vial ocurrido en el día 21 de abril de 2012, sobre las 21:30 horas, en una travesía a la altura del punto kilométrico 107,650 de la carretera A-7 (Algeciras – Tarragona), en el término municipal de Algeciras (Cádiz), consistente en el atropello a un peatón por parte del vehículo todoterreno, marca Land Rover, modelo Discovery 3 TDV6 S, resultando a consecuencia del mismo fallecido el peatón y daños de consideración en el vehículo. Desde un punto de vista técnico, se trata de un atropello en una travesía llevado a cabo por un automóvil todoterreno con su frontal que impacta a una persona de edad avanzada erguido en su lateral derecho cuando se encontraba cruzando la calzada por un paso de peatones regulado con semáforos con una trayectoria postimpacto de salto mortal (AFOSRS).
- Caso 20122101 DIRAT. Siniestro vial ocurrido el 5 de julio de 2012, sobre las 03:30 horas, en una vía interurbana a la altura del punto kilométrico 1,900 de la carretera A-5000 (Huelva – San Juan del Puerro), término municipal de Huelva, consistente en un atropello a un peatón por parte del vehículo, marca Renault, modelo Mégane 1.4i, resultando a consecuencia del mismo fallecido el peatón y daños en el turismo. Desde un punto de vista técnico, se trata de un atropello en una vía interurbana llevado a cabo por un automóvil con su frontal que impacta a un adulto erguido en su lateral derecho cuando se encontraba cruzando la calzada con una trayectoria postimpacto de salto mortal (AFASRS).
- Caso 20121501 DIRAT. Siniestro vial ocurrido el 4 de marzo de 2012, sobre las 05:10 horas, en una vía interurbana a la altura del punto kilométrico 31,600 de la autopista libre de peaje GC-1 (Plaza Belén María – Rotonda de Taurito), en la calzada sentido Norte, término municipal y partido judicial de San Bartolomé de Tirajana (Las Palmas), consistente en el atropello a un peatón

parte del vehículo, marca Mercedes Benz, modelo E220Cdi, resultando a consecuencia del mismo fallecido el peatón y daños en el vehículo. Desde un punto de vista técnico, se trata de un atropello en una vía interurbana llevado a cabo por un automóvil (taxi todoterreno) con su frontal que impacta a un adulto erguido en su lateral izquierdo cuando se encontraba cruzando la calzada con una trayectoria postimpacto de envolvimiento (AFASLW).

- Caso 20121401 DIRAT. Siniestro vial ocurrido el 6 de julio de 2011, sobre las 07:20 horas, en una vía interurbana a la altura del punto kilométrico 20,850 de la carretera EX-370 (Plasencia – Pozuelo de Zarzón), término municipal de Montehermoso (Cáceres) y partido judicial de Plasencia (Cáceres), consistente en el atropello a un peatón por parte del vehículo, marca Seat, modelo Toledo 1.9 TDI, resultando a consecuencia del mismo fallecido el peatón y daños en el vehículo. Desde un punto de vista técnico, se trata de un atropello en una vía interurbana llevado a cabo por un automóvil con su frontal que impacta a un adulto erguido en su lateral derecho cuando se encontraba cruzando la calzada con una trayectoria postimpacto de volteo sobre la aleta (AFOSRV).
- Caso 20120101 DIRAT. Siniestro vial ocurrido el 7 de febrero de 2011, sobre las 14:20 horas, en una vía urbana a la altura del I.E.S Zaframagón en la Avenida Manuel de Falla de la localidad de Olvera (Cádiz) , término municipal de Olvera (Cádiz) y partido judicial de Arcos de la Frontera (Cádiz), consistente en el atropello a dos peatones sentados en un banco por parte del vehículo mixto, marca Ford, modelo Tourneo connect, resultado a consecuencia del mismo fallecida una peatón, herida leve la otra, herido leve el conductor del vehículo e ileso un ocupante, así como daños materiales en vehículo implicado y en el mobiliario urbano. Desde un punto de vista técnico, se trata de un atropello en una vía urbana llevado a cabo por un automóvil (furgoneta) con su frontal que impacta a dos adultos sentados de una forma frontal cuando estaban sentadas en un banco en la acera con una trayectoria postimpacto de proyección frontal (AFAGFF).
- Caso 20113101 DIRAT. Siniestro vial ocurrido el día 12 de abril de 2011, sobre las 23:00 horas, en una vía urbana a la altura del número 3 de la calle Doctor Pulido Torres de la localidad Estación Linares-Baeza, término municipal y partido judicial de Linares, consistente en el atropello a un peatón por parte del vehículo, marca Renault, modelo Clio 2.5 RXE, resultando a consecuencia del mismo fallecido el peatón y daños en el vehículo. Desde un punto de vista técnico, se trata de un atropello en una vía urbana llevado a cabo por un automóvil con su frontal que impacta a un adulto erguido en su lateral izquierdo cuando se encontraba cruzando la calzada con una trayectoria postimpacto de envolvimiento (AFASLW).
- Caso 20102201 DIRAT. Siniestro vial ocurrido el día 7 de abril de 2010, sobre las 13:45 horas, a la altura del Hipódromo Romano de la Avenida Reina Sofía de la localidad de Mérida (Badajoz), término municipal y partido judicial de Mérida (Badajoz), consistente en el atropello a un peatón por parte del vehículo, marca Mercedes Benz, modelo E320 CDI, resultando a consecuencia del mismo fallecido el peatón y daños en el vehículo. Desde un

punto de vista técnico, se trata de un atropello en una vía urbana llevado a cabo por un automóvil con su frontal que impacta a una persona de edad avanzada erguido en su lateral derecho cuando se encontraba cruzando la calzada con una trayectoria postimpacto de salto mortal (AFOSRS).

- Caso 20101501 DIRAT. Siniestro vial ocurrido el día 3 de noviembre de 2002, sobre las 21:15 horas, a la altura del punto kilométrico 11,800 de la carretera A-373 (Villamartín – El Bosque), término municipal de Prado del Rey (Cádiz) y partido judicial de Ubrique (Cádiz), consistente en el atropello a un peatón por parte del vehículo, marca Seat, modelo Ibiza II 1.4, resultando a consecuencia del mismo herido grave el peatón y daños en el vehículo. Desde un punto de vista técnico, se trata de un atropello en una vía interurbana llevado a cabo por un automóvil con su frontal que impacta a un adulto erguido en su lateral derecho cuando se encontraba cruzando la calzada con una trayectoria postimpacto de envolvimiento (AFASRW).
- Caso 20096301 DIRAT. Siniestro vial ocurrido el día 23 de julio de 2009, sobre las 20:25 horas, a la altura de la intersección con glorieta de la calle Octavio Augusto de la Avenida Reina Sofia de la localidad de (Badajoz), consistente en el atropello de un peatón por parte del camión portacontenedores, marca Nissan, modelo Cabstar, resultando a consecuencia del mismo fallecida la peatón y daños en el vehículo. Desde un punto de vista técnico, se trata de un atropello en una vía interurbana llevado a cabo por un vehículo pesado con su frontal que impacta a una persona de edad avanzada erguida en su lateral derecho cuando se encontraba cruzando la calzada por un paso de peatones con una trayectoria postimpacto de proyección frontal (HFOSLF).
- Caso 20096201 DIRAT. Siniestro vial ocurrido el día 09 de noviembre de 2005, sobre las 18:45 horas, a la altura del punto kilométrico 533,100 de la carretera N-340a (Cádiz – Barcelona), término municipal y partido judicial de Vera (Almería), consistente en el atropello a un peatón por parte del vehículo, marca Citroën, modelo Xantia 19 TD Armo, resultando a consecuencia del mismo herido grave el peatón y daños en el vehículo. Desde un punto de vista técnico, se trata de un atropello en una vía interurbana llevado a cabo por un automóvil con su frontal a un adulto erguido en su lateral derecho cuando se encontraba cruzando la calzada con una trayectoria postimpacto de envolvimiento (AFASRW).
- Caso 20093401 DIRAT. Siniestro vial ocurrido el día 3 de mayo de 2009, sobre las 7:25 horas, a la altura del punto kilométrico 3 de la carretera CC-54 (Navalmoral de la Mata-EX-118 por Valdehúncar), término municipal de Millanes (Cáceres) y partido judicial de Navalmoral de la Mata (Cáceres), consistente en el atropello a un peatón por parte del vehículo, marca Renault, modelo Express 1.6 D, resultando a consecuencia del mismo fallecido el peatón y daños en el vehículo. Desde un punto de vista técnico, se trata de un atropello en una vía interurbana llevado a cabo por un automóvil (vehículo mixto furgoneta) con su frontal a un adulto erguido de espaldas que se encontraba corriendo por la calzada con una trayectoria postimpacto de envolvimiento (AFASBW).

- Caso 20090801 DIRAT Siniestro vial ocurrido el día 5 de junio de 2008, sobre las 21:50 horas, a la altura del punto kilométrico 63,750 de la carretera N-435 (Badajoz- Huelva), termino municipal de Valle de Matamoras (Badajoz), consistente en el atropello a dos peatones por parte del vehículo, marca Seat, modelo León, resultando a consecuencia del mismo fallecidos los dos peatones, dos heridos leves ocupantes del vehículo y daños en el vehículo. Desde un punto de vista técnico, se trata de un atropello en una vía interurbana llevado a cabo por un automóvil con su frontal a dos adultos erguidos de espaldas que se encontraba andando por la calzada con una trayectoria postimpacto de proyección frontal (AFOSBW), uno de ellos, y quedando el otro con su cuerpo empotrado en el vehículo.
- Caso 20085401 DIRAT Siniestro vial ocurrido el día 13 de junio de 2008, sobre las 01:05 horas, en una vía urbana en la calle Leonardo Da Vinci del Polígono Industrial “Las Cumbres”, término municipal de Don Benito (Badajoz), consistente en el atropello a un peatón por parte del vehículo, marca Audi, modelo A3 1.9 TDI, resultando a consecuencia del mismo herido grave el peatón y daños en el vehículo. Desde un punto de vista técnico, se trata de un atropello en una vía urbana llevado a cabo por un automóvil con su lateral a un adulto erguido que impacta en el lateral izquierda que se encontraba cruzando la calzada con una trayectoria postimpacto de envolvimiento (ALASLW).
- Caso 20150202 ERAT. Siniestro vial ocurrido el día 7 de diciembre de 2013, sobre las 17:15 horas, en el paraje “La Pinilla” de un camino rural de la localidad de Casasimarro (Cuenca), termino municipal Casasimarro y partido judicial de Motilla del Palancar (Cuenca), consistente en el atropello a un peatón por parte del vehículo, marca Nissan, modelo Patrol, resultando a consecuencia del mismo herido el peatón y daños en el vehículo. Desde un punto de vista técnico, se trata de un atropello en una vía interurbana llevado a cabo por un automóvil todoterreno con su frontal que impacta a un adulto erguido en posición frontal cuando se encontraba corriendo por un camino con una trayectoria postimpacto de proyección horizontal (AFASFF).
- Caso 20141202 ERAT. Siniestro vial ocurrido el día 14 de febrero de 2014, sobre las 1:25 horas, a la altura del punto kilométrico 72,694 de la carretera N-332 (Cartagena-Valencia), término municipal de Guardamar del Segura y Partido Judicial de Torrevieja (Alicante), consistente en el atropello a un peatón por parte del vehículo, marca Seat, modelo Córdoba, resultando a consecuencia del mismo fallecido el peatón y daños en el vehículo. Desde un punto de vista técnico, se trata de un atropello en una vía interurbana llevado a cabo por un automóvil con su frontal que impacta a un adulto tumbado en su lateral izquierdo cuando se encontraba en la calzada con una trayectoria postimpacto de proyección frontal (AFALFF).
- Caso 20141102 ERAT. Siniestro vial ocurrido el día 27 de julio de 2013, sobre las 05:55 horas, a la altura del punto kilométrico 10,200 de la carretera BU-800 (De Burgos por A-62 a N-I por San Pedro Cardeña), término municipal de Carcedo de Burgos y partido judicial de Burgos, consistente en el atropello a un peatón por parte del vehículo, marca Saab, modelo 9.3,



resultando a consecuencia del mismo fallecido el peatón y daños en el vehículo. Desde un punto de vista técnico, se trata de un atropello en una vía interurbana llevado a cabo por un automóvil con su frontal que impacta a un adulto erguido de espaldas derecho cuando se encontraba andando por la calzada con una trayectoria postimpacto de salto mortal (AFASFS).

- Caso 20140802 ERAT. Siniestro vial ocurrido el día 24 de abril de 2014, sobre las 13:55 horas, a la altura del número 3 de la Travesía de la Cruz en la localidad de Marchamalo (Guadalajara), termino municipal Marchamalo y partido judicial de Guadalajara, consistente en el atropello a un peatón por parte del vehículo, marca Nissan, modelo Almera, resultando a consecuencia del mismo herida grave la peatón y daños en el vehículo y en un inmueble. Desde un punto de vista técnico, se trata de un atropello en una vía urbana llevado a cabo por un automóvil con su frontal que impacta a un adulto erguido de espaldas cuando se encontraba andando por la acera con una trayectoria postimpacto de volteo sobre la aleta (AFOSBV).
- Caso 20133002 ERAT. Siniestro vial ocurrido el día 01 de mayo de 2013, sobre las 06:23 horas, en la calle Camino San Antón s/n de la localidad de Pinto (Madrid), término municipal de Pinto (Madrid) y partido judicial de Parla (Madrid), consistente en el atropello a una peatón por parte del vehículo, marca Volkswagen, modelo Golf, resultando a consecuencia del mismo herida muy grave la peatón y daños en el vehículo. Desde un punto de vista técnico, se trata de un atropello en una vía urbana llevado a cabo por un automóvil con su frontal que impacta a un adulto erguido por su espalda cuando se encontraba andando por la calle con una trayectoria postimpacto de envolvimiento (AFASBW).
- Caso 20131302 ERAT. Siniestro vial ocurrido el día 09 de febrero de 2013, sobre las 11:40 horas, a la altura del núm. 3 de la Avenida San José de Ibiza, término municipal y partido judicial de Ibiza (Islas Baleares), consistente en la salida de vía por margen derecho con, posterior, atropello a un peatón y colisión con varios vehículos aparcados y con el mobiliario urbano por parte del vehículo marca BMW, modelo 523, resultando a consecuencia del mismo fallecido el peatón, así como daños materiales en el vehículo implicado, en otros vehículos aparcados y en diverso mobiliario urbano. Desde un punto de vista técnico, se trata de un atropello en una vía urbana llevado a cabo por un automóvil con su lateral izquierdo que impacta a un adulto erguido en su lateral izquierdo cuando se encontraba cruzando andando por la acera con una trayectoria postimpacto de proyección frontal (ALASLF).
- Caso 20091402 ERAT. Siniestro vial ocurrido el día 12 de octubre de 2008, sobre las 18:15 horas, a la altura del punto kilométrico 38,800 en la carretera M-130 (Robledillo de la Jara a Prádena del Rincón), término municipal de Prádena del Rincón (Madrid), consistente en el atropello a una peatón por parte del vehículo, marca Volkswagen, modelo Transporter 2.5, resultando a consecuencia del mismo fallecida la peatón y daños en el vehículo. Desde un punto de vista técnico, se trata de un atropello en una travesía llevado a cabo por un furgón con su frontal que impacta a un adulto erguido por su espalda

cuando se encontraba andando por la calzada con una trayectoria postimpacto de proyección frontal (VFOSFF).

El formato de modelo de informe de caso que ofrece la base de datos en profundidad puede consultarse en el Anexo I, en el cual se ha incluido el correspondiente al caso de atropello 20122201 del DIRAT.

## **II. ESTUDIO ESTADÍSTICO DE LA MUESTRA**

La muestra está compuesta por veinte casos de atropellos de todas las tipologías posibles propuestas en este trabajo. A pesar de que tanto el número de casos como la tipología no son representativos de los porcentajes globales y tipos que ocurren en España, el análisis estadístico tiene una doble finalidad: por una lado, dar una idea de la riqueza de datos y de capacidad de análisis que ofrece una base de datos en profundidad y, por otro lado, permite comparar la información y las conclusiones obtenidas con los datos globales de España ofrecidos por la Dirección General de Tráfico, por las bases de datos y estudios en profundidad españoles y por otros estudios en profundidad, preferentemente, europeos.

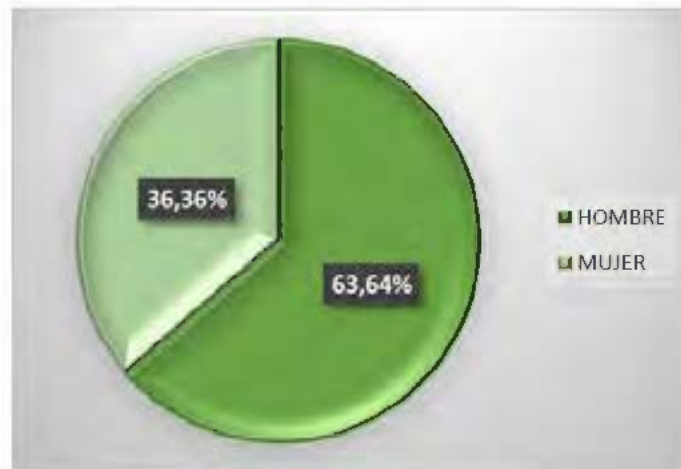
### **1. ANÁLISIS DEL SISTEMA VIAL**

Si se ha establecido como premisa que tanto el modelo de siniestro vial como la metodología de la investigación deben ser abordadas desde una perspectiva sistémica y, este planteamiento no se trata de una simple pose, parece normal que las primeras variables que se expongan se estructuren de una forma sistémica para que ofrezcan una visión de cada uno de los subsistemas que componen el sistema vial y sus interrelaciones que pueden dibujar una mapa científico de lo que es un siniestro vial, en general, y un atropello a un peatón, en particular.

#### **1.1 Factor humano**

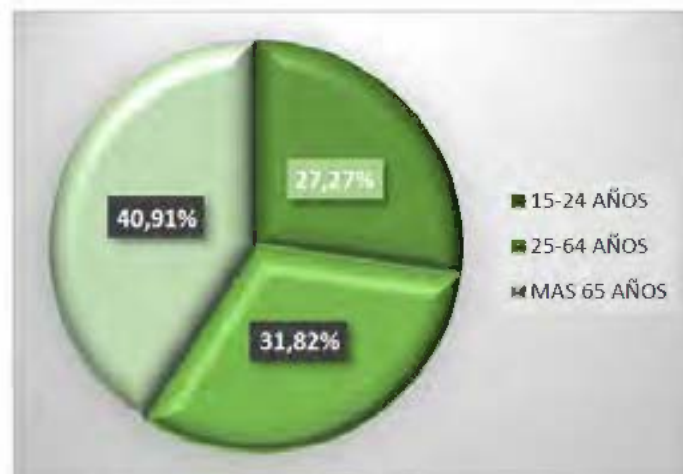
##### *1.1.1 Peatón*

En la muestra analizada, las personas atropelladas pertenecen al género masculino en una proporción próxima al doble que al femenino. Estas cifras son coherentes con la distribución del género de las víctimas de atropello en España en 2013, aunque hay que diferenciar entre vías interurbanas donde fueron atropellados un 63,74 % de hombres y un 37,11 de mujeres, mientras que en las vías urbanas estos porcentajes fueron del 45,11 % y del 52,86 % respectivamente. Como puede observarse el perfil de la muestra de esta tesis encaja con el ofrecido a nivel global por las vías interurbanas debido a que es esta la localización mayoritaria en la muestra.



*Figura 121: Género de las personas atropelladas en la muestra*

Por otro lado, al analizar la edad de las personas atropelladas se comprueba que el grupo más numeroso con diferencia se corresponde con los mayores de 65 años con un total de 9 víctimas, mientras que los otros dos grupos quedan empatados a seis. La distribución porcentual de casos, según los tres grupos definidos, puede observarse en la Figura 122.



*Figura 122: Distribución porcentual de la edad de las víctimas de atropello*

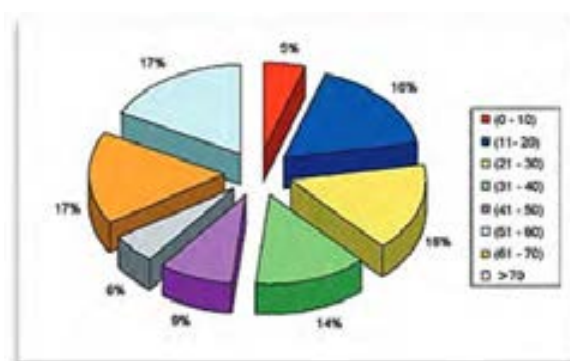
A pesar que ya se ha dicho que la muestra no es representativa, esta distribución porcentual puede utilizarse para comparar los casos analizados con la distribución estadística total de atropellados en España.

En un estudio llevado a cabo por la DGT sobre la siniestralidad urbana, al analizar las edades de los peatones atropellados se presentan elevados porcentajes tanto para los niños hasta los 14 años como para las personas mayores. Es especialmente llamativo y preocupante el grupo correspondiente a edades superiores a 65 años, ya que el 53,5 % del total de peatones fallecidos tenían más de 65 años y, específicamente, 106 de los 278 peatones fallecidos en 2009 tenían más de 74 años (DGT, 2010, p. 27).

En el año 2013, de acuerdo con los datos de la Tabla 16, el grupo de 15 a 24 años supuso el 10,99 %, el de 25 a 64 años un 43,11 % y los mayores de 65 años supusieron el 27,2 %. Se observa una inversión de los porcentajes de los dos grupos de mayores y

menores de 65 años. En cambio sí se tuvieran en cuenta la distribución porcentual de edades de los atropellos mortales la distribución porcentual se asemeja mucho a la del presente trabajo. Este efecto de sobrerrepresentación de las personas mayores de 65 años entre las víctimas mortales de atropellos ha motivado que se pueda tratar a este colectivo con medidas específicas para concienciarles de este problema y que ellos mismos puedan adoptar las precauciones adecuadas para no verse implicados en este tipo de siniestros viales.

En el estudio en profundidad coordinado por Sernauto la distribución de edades de la muestra en los grupos semejantes son del 34 % para los mayores de 61 años, de 31 a 60 años sería del 29 %, mientras que el grupo de los 11 a los 30 años supone un porcentaje del 32 % (Olona, 2008 , p. 52). Datos que se acercan más a la distribución de la muestra de este trabajo, por los mismos motivos aunque al ser una muestra mucho mayor el porcentaje de mayores de 61 años disminuye ligeramente.



*Figura 123: Distribución de edades en el estudio en profundidad sobre atropellos coordinado por SERNAUTO*

A nivel internacional es interesante comparar los datos de este trabajo con otros estudios tanto de países de nuestro entorno como procedentes de otras realidades a nivel mundial, por este motivo se incluyen las distribuciones porcentuales de edad de dos estudios en profundidad de atropellos a peatones, uno extraído de la base de datos en profundidad alemana GIDAS y otro procedente de un estudio en profundidad llevado a cabo en la ciudad china de Changsha (Yang & Otte, 2007, p. 4). Como diferencia fundamental de esta distribución puede observarse la importancia que tienen en Alemania, los grupos de edad de más de sesenta años por encima del 20 % y de entre 6 y 19 años pero que tan solo supone un poco más del 15 %, mientras que en China sobresale el grupo de edad entre 45 y 50 años con el 13 % y los grupos de 16 a 40 años levemente por encima del 10 %. Es obvio que esta diferencia viene marcada por la diferente pirámide poblacional que presentan Alemania y China.

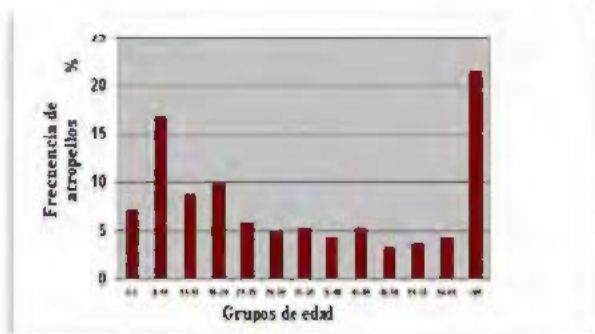


Figura 124: Distribución de edades de Alemania

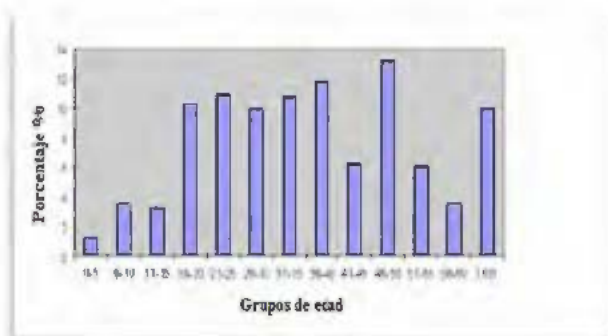


Figura 125: Distribución de edades en China

Los datos globales y los de este trabajo auguran que la distribución porcentual de edades de las personas atropelladas en España se desplazará, aún más, hacia el grupo de las personas de edad avanzada.

Si se avanza un paso más y se observa la distribución de edades de acuerdo con el género de la persona atropellada, se concluye que, además, las mujeres de edad avanzada son aún más vulnerables a este tipo de siniestros viales. Tal y como puede observarse en la Figura 126, en esta muestra el número de mujeres mayores de 65 años constituyen el 23,81% de todos los casos, por lo que se configura de esta forma un perfil que aparece como claramente vinculado a los atropellos mortales, porque todas las mujeres resultaron fallecidas excepto un caso en que la persona resultó herida grave.

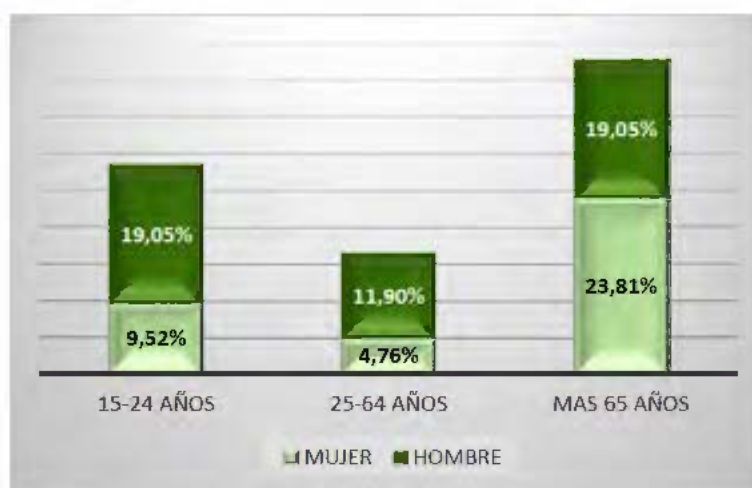


Figura 126: Distribución porcentual de edades y géneros de las personas atropelladas



La estatura como dato de la muestra presenta una evidente laguna, por falta de información de las fuentes originales o por no haberla recogido el investigador, que se hace más grave en el caso del género femenino. En el grupo de los hombres, la distribución apunta a unos pocos casos de personas muy altas, que también son en su mayoría menores de 25 años, y una mayoría de personas de edad avanzada que tienen entre 1,60 y 1,69 metros.

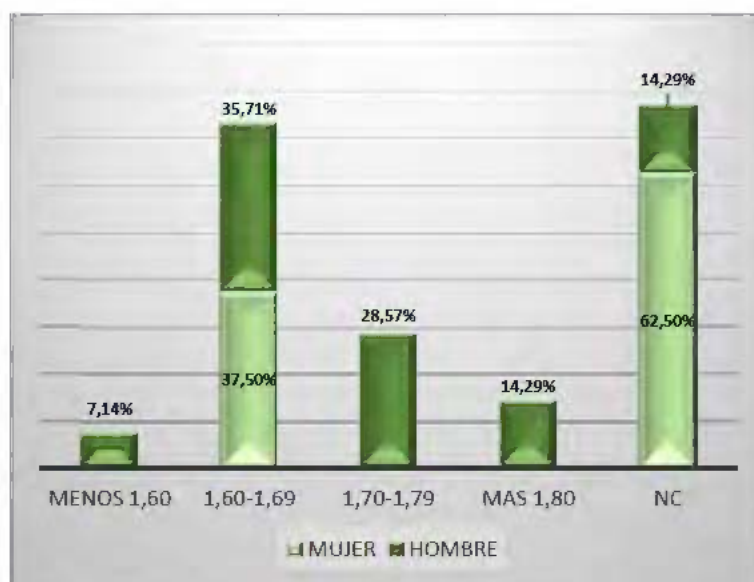


Figura 127: Distribución porcentual de las estaturas y géneros de las personas de la muestra

El Instituto Nacional de Estadística, basándose en datos de Eurostat, ofrece como datos más recientes de la altura media de la población europea por países, sexo, periodo y edad los correspondientes al año 2001 (INE, 2001). En la Tabla 44 se ofrecen los datos correspondientes a España y al compararlos con los de la muestra de esta tesis ofrece datos similares para los hombres y algo inferiores para las mujeres.

Tabla 44: Estatura media en España por géneros y grupos de edad

	Entre 15 y 24 años	Entre 25 y 34 años	Entre 35 y 44 años	Entre 45 y 54 años	Entre 55 y 64 años	65 años y más
<b>Varones</b>	1,766	1,750	1,728	1,710	1,690	1,671
<b>Mujeres</b>	1,656	1,636	1,611	1,604	1,593	1,576

Las variables definidas en relación con el peatón ofrecen un perfil claro de sus características personales y deben ser puestas en relación con otras variables relativas a la configuración del vehículo y a su velocidad en el momento del impacto para comprobar su relación con la lesividad registrada.

### 1.1.2 Conductor

El primer factor de análisis del conductor es su edad. Es resaltante la juventud de los conductores de la muestra, ya que casi la mitad son menores de 30 años y de ellos una parte muy importante no supera los 23 años. Los conductores mayores de cincuenta años solo representan el diez por ciento de la muestra y uno de los casos se trató de un atropello a baja velocidad en un camino forestal.

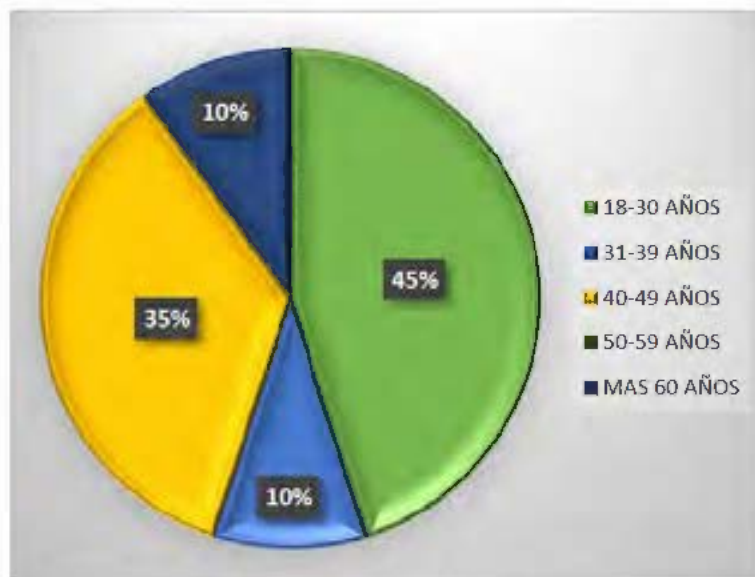


Figura 128: Edades de los conductores de la muestra

Si se atiende a la antigüedad del permiso de conducción B se observa la gran incidencia que tiene la experiencia, la estrategia de conducción prudente y el conocimiento de la acción evasiva. En total el grupo de conductores con menos de diez años de antigüedad es el más numeroso con el 35 % del total, teniendo en cuenta que el 10 % de la muestra la conforman conductores noveles, uno de ellos con tan solo 18 días desde la fecha de vigencia de la autorización. No constan restricciones en los permisos de conducción, salvo las referidas a esos dos conductores noveles. Con más de treinta años de antigüedad, dato ligado a la edad del conductor, no aparece más que un pequeño porcentaje lo cual confirma que, normalmente, se produce una adaptación de la estrategia de conducción cuando se aumenta la edad del conductor y la antigüedad del permiso, quizás para compensar la pérdida de aptitudes y facultades naturales.

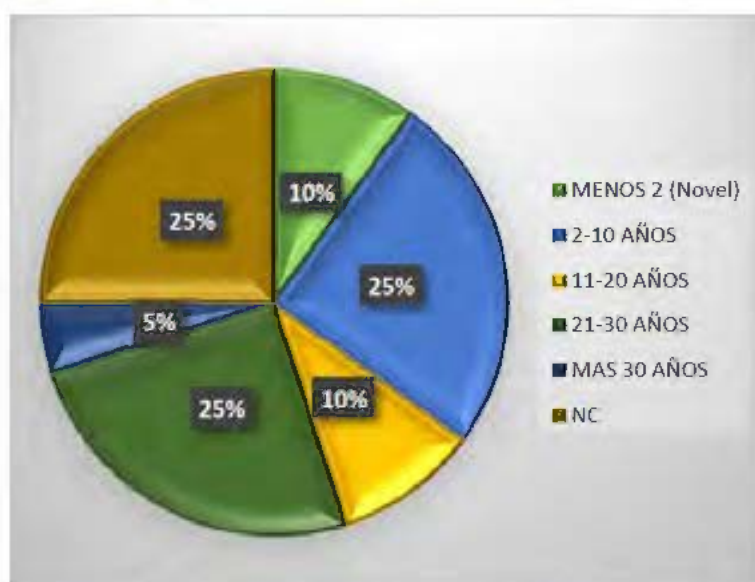


Figura 129: Antigüedad del permiso de conducción B de los conductores

Con respecto al consumo de alcohol es necesario apuntar el elevado porcentaje de conductores que habían consumido bebidas alcohólicas que se sitúa en el 35 %, pero que es mucho mayor si se tiene en cuenta que el 40 % de los casos no se realizaron o no se



podieron realizar las pruebas de alcoholemia. Se observa sobre todo este consumo en el horario nocturno, lo cual aumenta el riesgo de atropello, pero también por la mañana temprano a la vuelta de algún viaje de ocio o a la salida de lugares de esparcimiento.

El número de pruebas de drogas, aún después de un siniestro vial, es considerablemente menor que el de pruebas de alcoholemia, a pesar de lo cual un 15 % de los conductores había consumido algún tipo de sustancia psicotrópica o estupefaciente.

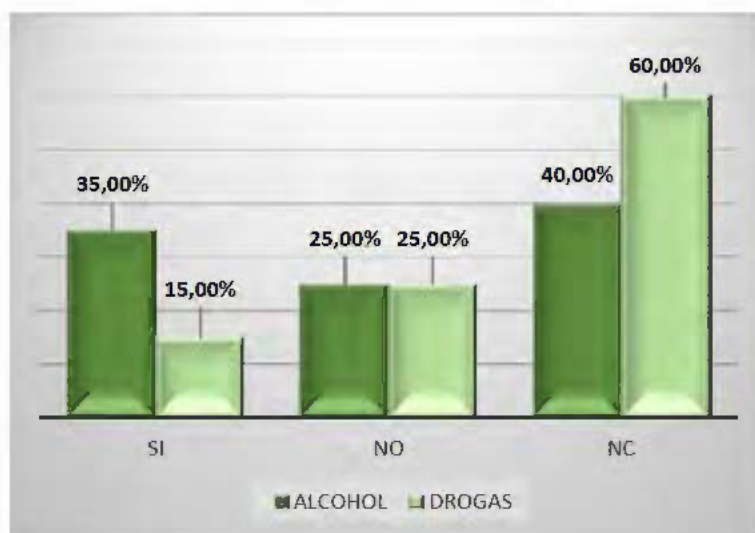


Figura 130: Consumo de alcohol y drogas en los conductores

En la muestra los dos conductores noveles que aparecen en la muestra habían consumido alcohol, uno de ellos en una cantidad pequeña, pero el otro en gran cantidad con un consumo cruzado con algunas sustancias estupefacientes.

## 1.2 Factor vehículo

El tipo de vehículo implicado en el atropello pertenece mayoritariamente al grupo de turismo con un 65 %, con un 15 % de vehículos de todoterreno, un porcentaje igual de furgonetas y un solo caso en el que había intervenido un vehículo pesado, concretamente un camión.

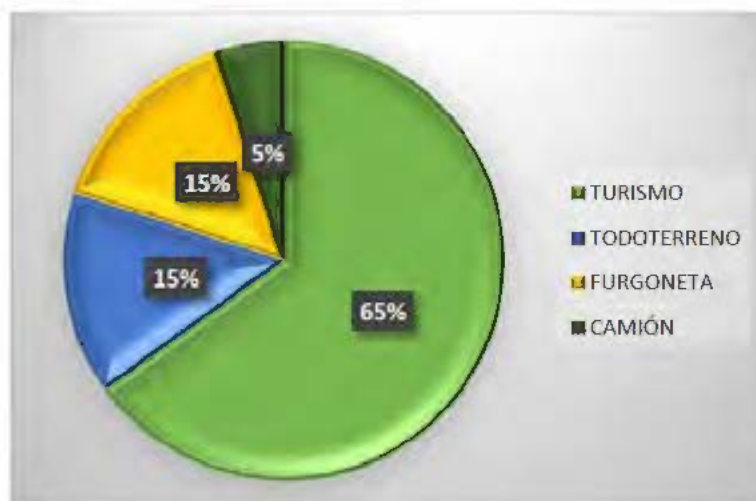


Figura 131: Distribución porcentual de la muestra según el tipo de vehículo implicado

En los datos globales de España, al estudiar la tipología de los vehículos implicados en atropellos a peatones en vías urbanas el mayor porcentaje lo constituyen los turismos con un 72,8%, incluidos los todoterrenos, mientras que el resto no superan el 10 % (DGT, 2010, p. 27).

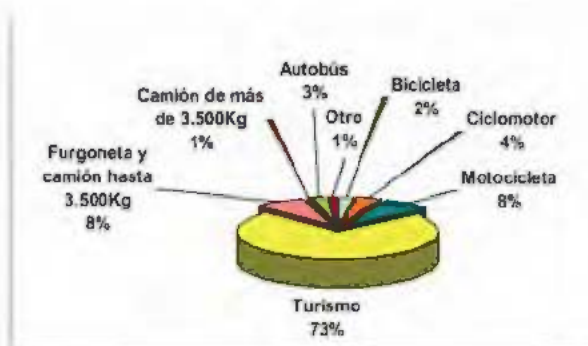


Figura 132: Distribución de los vehículos implicados en atropellos.

Si se comparan estos resultados con los obtenidos en Alemania por GIDAS y en Changsha por el equipo de investigación chino se observa con respecto a los turismos que la muestra española supera al porcentaje chino pero no alcanza al alemán, en el caso de los camiones su presencia es baja en GIDAS y la muestra alcanza un valor similar, mientras que en China el porcentaje es más de la suma de ambas (Yang & Otte, 2007, p. 4).

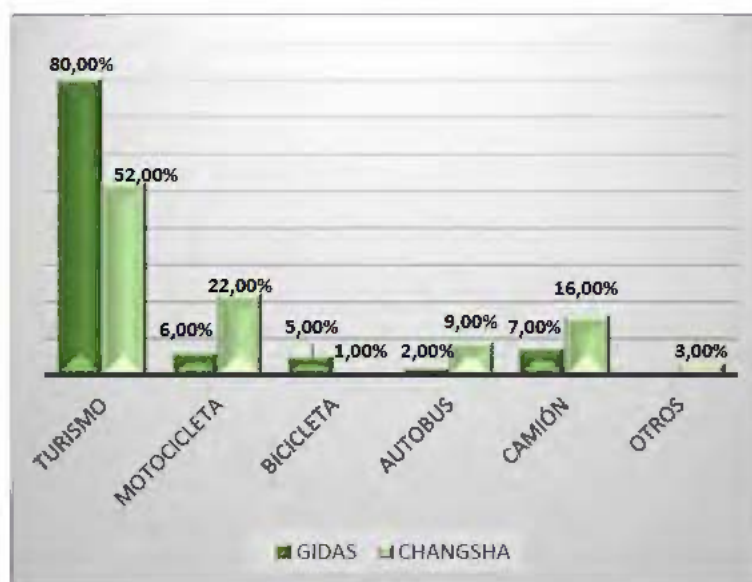


Figura 133: Distribución porcentual comparativa de los tipos de vehículos

Con respecto al peso del vehículo implicado en los atropellos, porcentualmente la mayoría de ellos, al ser turismos, se encuentran en el segmento comprendido entre los 1000 y los 1500 kgs, y si se amplía este intervalo hasta los 2000 kgs, entonces, el porcentaje acumulado alcanza el 85 % de todos los casos analizados.

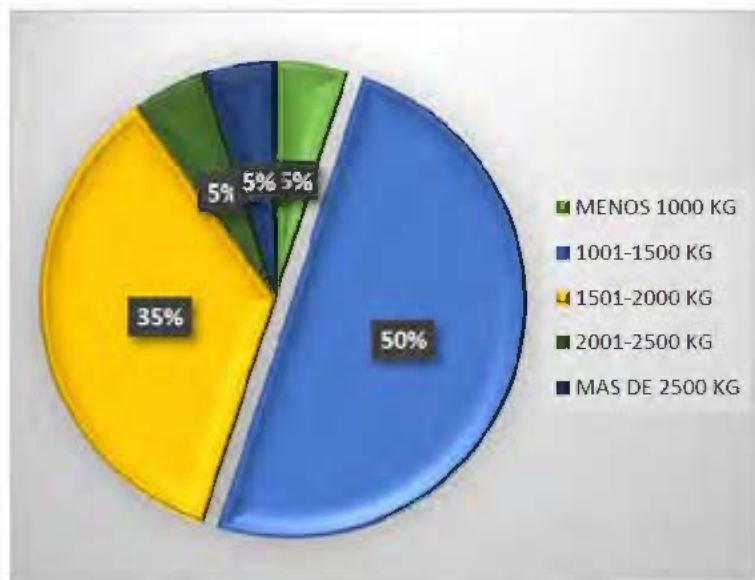


Figura 134: Peso del vehículo implicado en el atropello

De manera semejante puede procederse con la variable de la cilindrada del vehículo, que permite hacerse una idea de la potencia del mismo, donde se obtienen resultados semejantes, aunque no puede obviarse que los turismo de gama alta y los de gama media potentes están sobrerrepresentados en la muestra en relación con el conjunto de las tipologías de siniestros viales.

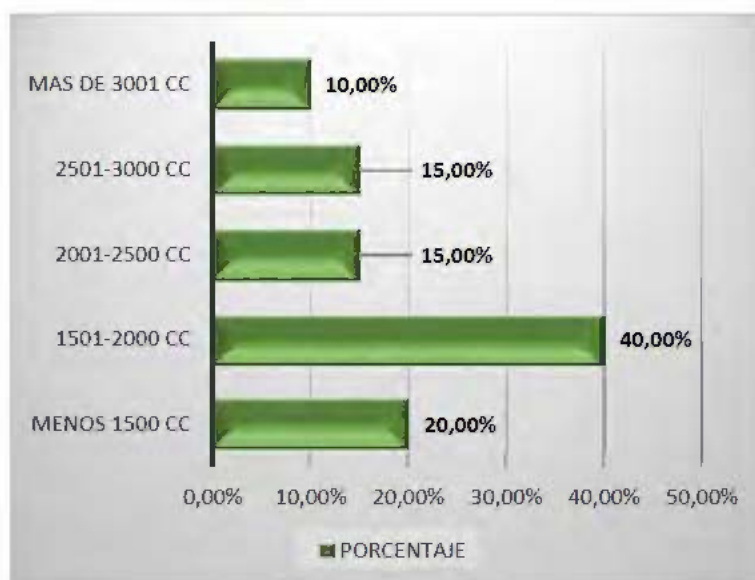


Figura 135: Distribución porcentual de los vehículos de la muestra con arreglo a su cilindrada

Si se analizan las partes de los vehículos que con mayor frecuencia resultan dañadas en los atropellos de la muestra de esta tesis, tal y como puede verse en la sobresalen el parachoques que resultó dañado en un 70 % de los casos y el capó que le siguió con un 65 %. El cristal del parabrisas fue golpeado por el peatón en un 55 %. En el frontal se ven afectados los faros, la rejilla y el radiador, mientras que a la altura del parachoques es frecuente que la matrícula presente abolladuras o incluso se desprenda.



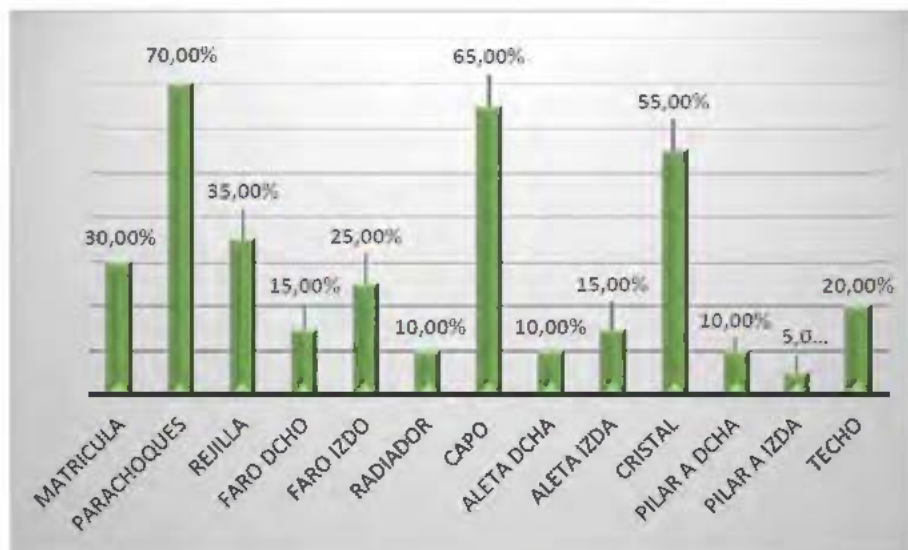


Figura 136: Partes del vehículo dañadas

Si se atiende en cambio a la frecuencia con que resultan afectadas las partes del vehículo el parachoques con un 95 % encabeza la lista, seguido por el frontal y el capó con un 60%. El peatón alcanza en un 20 % de las ocasiones el techo. En la tabla no se han incluido como información que en un 10 % de los casos los espejos retrovisores fueron golpeados por el peatón, en ambos casos al llevar una trayectoria postcolisión de volteo sobre la aleta.



Figura 137: Porcentaje de casos en los que resultó afectada esa parte del vehículo

En un 5% de la muestra de este trabajo el atropello fue lateral, tras una pérdida de control del conductor del vehículo, en el estudio ABIDA la localización del impacto en el lateral del vehículo fue casi el doble y un porcentaje muy similar de impactos con el retrovisor (Aparicio Izquierdo, 2005, p. 8).

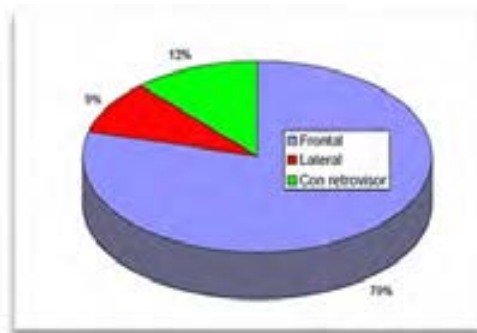


Figura 138: Distribución de la zona de impacto en el vehículo

Al comparar las partes del vehículo dañadas se observa en la Figura 138 una menor incidencia tanto en el capó como en el cristal de parabrisas (Aparicio Izquierdo, 2005, p. 8). Al ser Abida un estudio dentro del ámbito urbano y tener una menor velocidad media de impacto es lógico que no alcancen una WAD tan amplia.

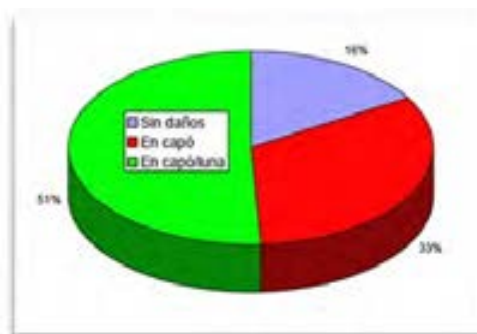


Figura 139: Partes afectadas en los vehículos implicados en los atropellos

El vehículo tiene numerosas variables geométricas que hay que poner en relación con la trayectoria postcolisión del cuerpo del peatón y con las lesiones que este sufre a consecuencia de los impactos.

### 1.3 Factor estructural

La vía es como factor estructural y sus condiciones no reciben habitualmente, salvo en estudios específicos, una atención suficiente en la fase previa y en la determinación de sus causas.

Las características principales de la vía en la muestra de esta tesis no coinciden, en términos generales, con los datos estadísticos globales de atropellos a peatones en España. En la muestra la mitad de los atropellos a peatones han sucedido en una vía interurbana, de la mayoría de las cuales la titularidad es autonómica y se trata de una carretera convencional, tal y como muestra la Figura 140.

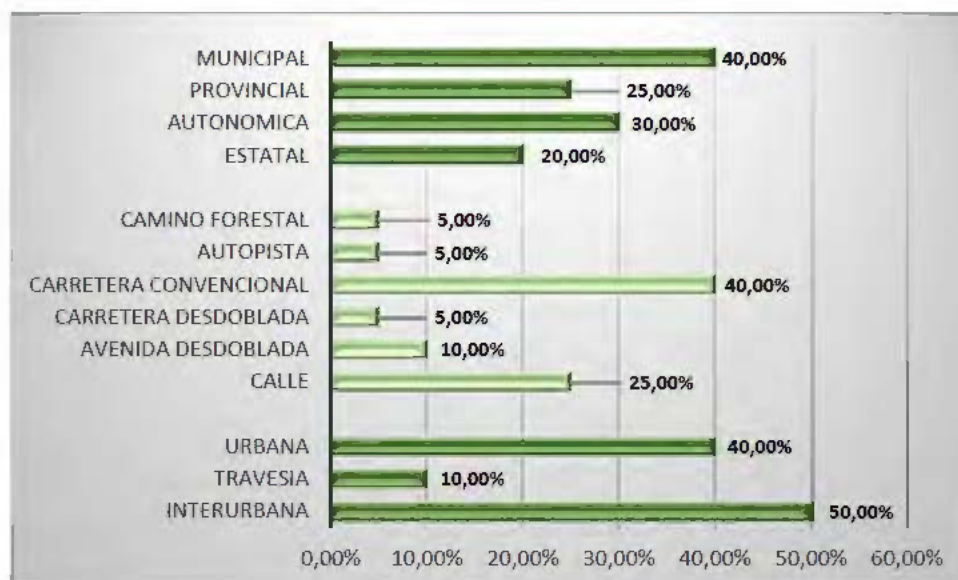


Figura 140: Características generales de la vía donde sucedieron los atropellos

El trazado de la vía donde tuvo lugar el atropello, al contrario de lo que podría decir la lógica, es mayoritariamente recto. A partir de aquí la visibilidad del conductor depende de otros factores, principalmente, la presencia de obstáculos, la posibilidad de deslumbramiento y el grado de luminosidad disponible. Aquellos lugares de trazado curvo la visibilidad tampoco se vio afectada por el trazado.

Los atropellos en carreteras convencionales son menos frecuentes, pero tienen como característica distintiva una alta severidad.



Figura 141: Trazado donde sucedieron los siniestros viales de la muestra

De nuevo, cabría pensar a que a mayor anchura de la calzada le correspondería una mayor exposición del peatón al riesgo, pero a pesar de localizarse la mayor parte de los casos de la muestra en carreteras convencionales interurbanas el 65 % de todos los casos presentan una calzada de 5 a 10 metros de ancho.

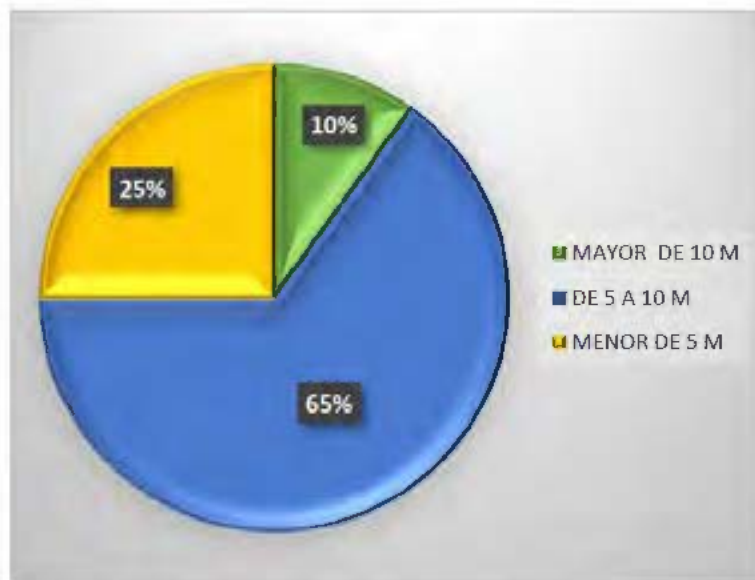


Figura 142: Anchura de la calzada en el lugar de atropello

La pendiente longitudinal de la vía en el lugar del atropello tiene una importancia relativa a la hora de la estimación de la velocidad de impacto del vehículo, en el supuesto que exista una huella de frenada, porque indirectamente afecta al coeficiente de rozamiento del neumático con el pavimento. En la muestra de este trabajo la pendiente en la mayoría de los casos es pequeña o nula.

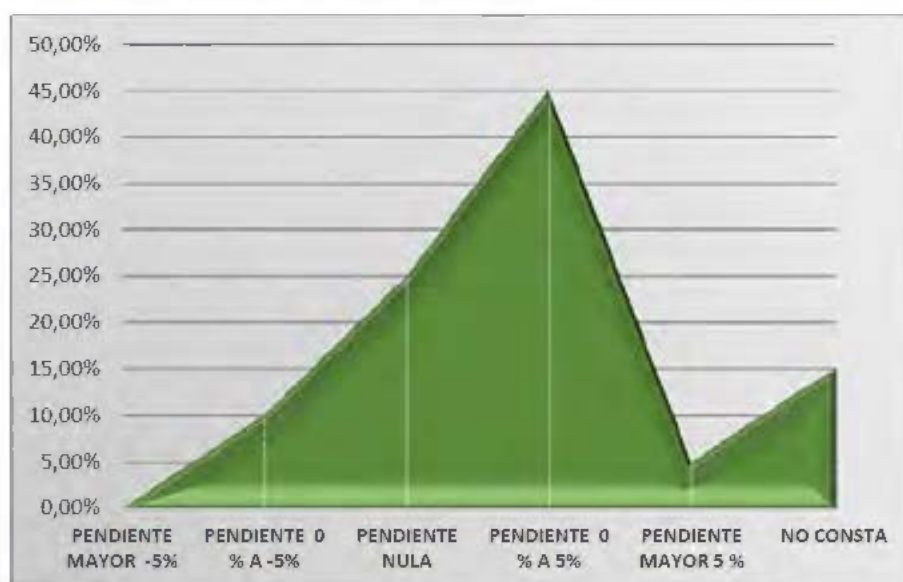


Figura 143: Pendiente de la calzada en el punto de atropello de acuerdo con el sentido del vehículo

La existencia de un paso de peatones, tan solo otorga la prioridad de paso de peatones desde el punto de vista jurídico, pero no evita el atropello. En la muestra, tan solo, se produjo el atropello en un paso de peatones en el 20 % de los casos.

La mayor parte de los atropellos de la muestra se produjeron por la noche, en concreto un 55 % de los casos, mientras que el 45 % restante se produjo en horario diurno.



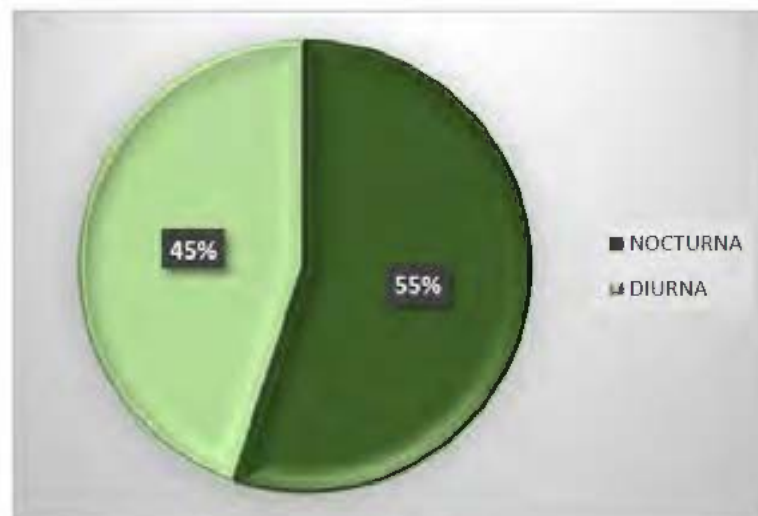


Figura 144: Horario del atropello

Si se comparan estos datos con la estadística global del año 2013 ofrecida por la Dirección General de Tráfico (DGT, 2014, p. 95), se observa que los porcentajes de la muestra son semejantes a los atropellos mortales totales en España, pero además están invertidos. La alta letalidad de la muestra de esta tesis explica que la mayoría de los atropellos sean nocturnos, o mejor la falta de luminosidad tiene una relación directa con la gravedad del atropello y no tanto con la frecuencia.

Tabla 45: Atropellos en España en 2013 según el horario de ocurrencia

	DIA		NOCHE	
Atropellos con víctimas	8992	77,55 %	2603	22,45 %
Atropellos mortales	174	57,05 %	131	42,95 %
Muertos	232	60,89 %	149	39,11 %
Heridos graves	1550	73,84 %	549	26,16 %
Heridos leves	8439	78,1 %	2367	21,9 %

La luminosidad en el lugar del atropello, más allá del horario de ocurrencia del hecho, deja como cifra significativa que en el 80 % de los casos la vía estaba suficientemente iluminada, mientras que en el restante 20 % la vía no reunía esas condiciones de visibilidad.



Figura 145: Luminosidad en el lugar del atropello

Si se observa ahora la Figura 145, dentro del horario nocturno los casos que se producen en vía insuficientemente iluminadas casi duplican a lo que ocurren en vías que están convenientemente iluminadas. En la Tabla 46, los porcentajes Tabla 1 de atropellos mortales y muertos en atropellos (DGT, 2014, p. 95) aparecen invertidos con respecto a los de la muestra de esta tesis.

Tabla 46: Iluminación de la vía en horario nocturno

	VIA ILUMINADA		VIA NO ILUMINADA	
<b>Atropellos con víctimas</b>	2454	94,28 %	149	5,72 %
<b>Atropellos mortales</b>	81	61,83 %	50	38,17 %
<b>Muertos</b>	97	65,1 %	52	34,9 %
<b>Heridos graves</b>	497	90,53 %	52	9,47 %
<b>Heridos leves</b>	2280	96,32 %	87	3,68 %

En relación con las condiciones atmosféricas existentes en el momento del atropello en el 85 % de los casos estaba despejado y en el restante 15 % estaba lluvioso o cubierto.

Se realizó una grabación de video con el recorrido del vehículo en la fase de preimpacto en un 65 % de los casos, en las mismas condiciones de luminosidad y climatológicas reinantes en el momento de los hechos en el lugar del atropello.

#### 1.4 Factor socionormativo

El factor socionormativo aporta información sobre el comportamiento de los conductores y los peatones en relación con las normas jurídicas y sociales que rigen el uso y disfrute por parte de todos los usuarios de las vías públicas y de uso común.

El límite máximo de velocidad aplicable a los conductores y vehículos implicados en el lugar del siniestro puede ser, principalmente, de dos tipos, por un lado, el límite genérico de la vía según su tipología y, por otro lado, el límite específico de la vía en el lugar de los hechos, o el aplicable a alguno de los conductores implicados por razón del vehículo o restricciones de tipo personal.

Si se consulta la Figura 140 se puede ver que la mayoría de las vías zona interurbana era carreteras convencionales de titularidad autonómica y la mayoría de las vías en zona urbana era avenidas y calles de titularidad municipal, correlativamente las velocidades genéricas que la normativa permite en esas vías son 90 km/h y 50 km/h respectivamente como queda reflejado en la Figura 146. En cambio sí se atienden a los límites de velocidad específicos, tan solo en un 15 % de los casos el límite de velocidad se encuentra en 90 km/h, en cambio casi en la mitad de los casos analizados el límite específico de velocidad se encontraba en 50 km/h.



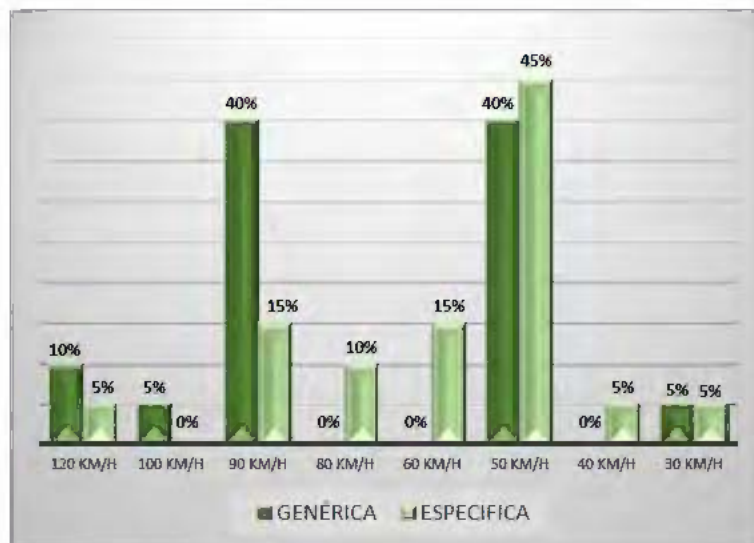


Figura 146: Límites de velocidad genéricos y específicos en el lugar de atropello

El cumplimiento efectivo por parte de los conductores de todo tipo de vehículos de motor de los límites específicos de velocidad se dibuja como un factor estadístico clave para, directamente, aminorar el número de casos de atropello e, indirectamente, paliar la gravedad de las lesiones infligidas a las víctimas.

Un dato importante y revelador se encuentra en el hecho de que el 30 % de los conductores se dieron a la fuga con posterioridad al atropello. Este comportamiento hay que ponerlo, inevitablemente salvo rara excepción, en relación con el consumo de alcohol o sustancias estupefacientes porque en todos los casos que pudo localizarse con inmediatez al conductor del vehículo dio positivo en alguna de las pruebas realizadas, y en el resto no consta porque no pudieron realizarse esas pruebas, aunque había indicios de ese tipo de consumos. El consumo, principalmente, nocturno por parte de los conductores de alcohol y drogas sigue siendo un factor estadístico de elevada incidencia en los atropellos a peatones.

En la muestra analizada la mayor parte de los atropellos se producen fuera de un paso de peatones, de hecho tan solo se da este supuesto en el 10 % de los casos, y además en un 5 % se trata de un paso de peatones con regulación semafórica. Además en este último caso la conducta de la víctima contribuyó de forma determinante a la ocurrencia de su propio atropello.

Ninguno de los peatones atropellados en la muestra utilizaba un chaleco autorreflectante o cualquier otra prenda de alta visibilidad, a pesar que en el 30 % de los casos era obligatorio su uso al amparo de lo dispuesto en el artículo 123 del Reglamento General de Circulación.

En la Figura 157 la acción de cruzar la calle o calzada fuera de un paso de peatones se observa en la mitad de los casos de la muestra, lo cual constituye en ambos casos infracción de la normativa de seguridad vial que regula el comportamiento correcto de los peatones en su utilización de las vías de uso común.

A nivel global en los datos complementarios ofrecidos por la Dirección General de Tráfico se pueden consultar las posibles infracciones cometidas por los peatones víctimas del atropello. Hay que hacer notar tanto la irrupción como el cruce antirreglamentario

de la vía, que suponen un 32% de todas las infracciones observadas y el no utilizar el paso de peatones que le sigue con un 25% (DGT, 2010, p. 26).

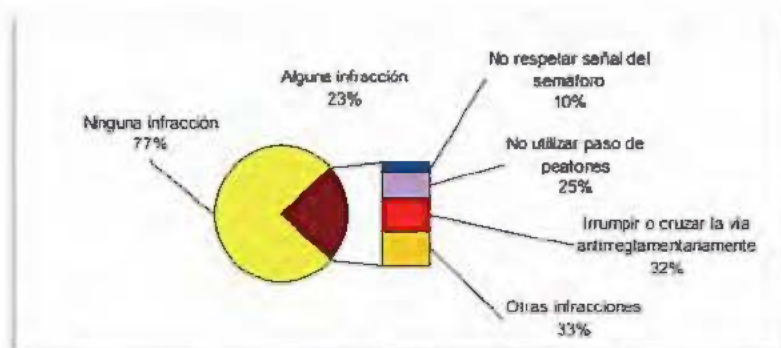


Figura 147: Distribución de las infracciones cometidas por los peatones víctimas de un atropello

En la muestra de esta tesis, en cuanto al consumo de alcohol y drogas por parte de los peatones, aparece claramente un perfil de persona joven que, generalmente, en solitario se desplaza de una población a otra a la que había acudido a alguna fiesta o a algún local de ocio y que al volver andando por la noche resulta atropellado por andar por la calzada o cruzarla. En varios casos de la muestra, especialmente en aquellos que el peatón resultó herido de diversa consideración, no consta que se le practicaran las pruebas de alcoholemia y drogas por lo que la verdadera incidencia de este factor permanece, en una parte importante, ignorado.

## 2. LESIONES

El Anuario de la Dirección General de Tráfico correspondiente al año 2013 ofrece como cifras globales de siniestralidad un número de 1680 muertos, 10086 heridos graves y 114634 heridos leves. De ellos eran peatones un total de 378 muertos, 2053 heridos graves y 9913 heridos leves.

La muestra obtenida para esta tesis no puede ser considerada representativa a efectos estadísticos, ya que si se observa la Figura 148 predominan los atropellos con resultado mortal con un 68% seguido por lo que han tenido como resultado heridos graves con un 27% y cierran el grupo los heridos leves con un 5%, lo cual significa prácticamente una inversión de las cifras globales.

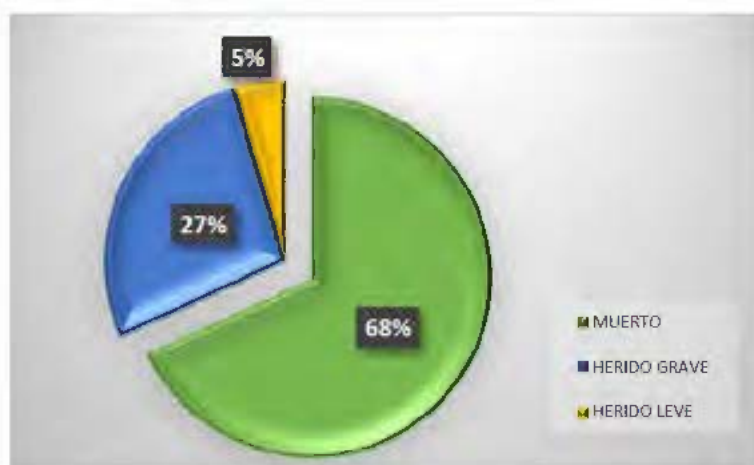


Figura 148: Gravedad global de las lesiones sufridas por las víctimas del atropello



En el estudio Abida la distribución porcentual tampoco era representativa de las víctimas de atropello en España, prácticamente por los mismos motivos que en esta tesis, aunque en este caso la mayoría de los casos se quedaron en consecuencias graves, lo cual es coherente con un entorno urbano como el de Madrid (Aparicio Izquierdo, 2005, p. 8).

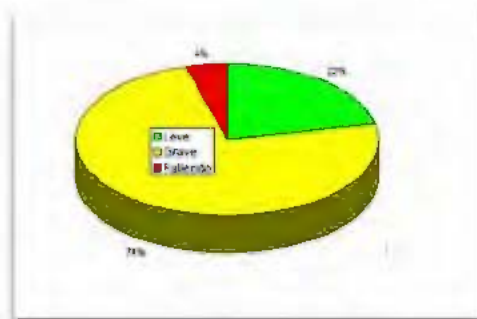


Figura 149: Gravedad de las consecuencias de los atropellos en Abida

En la muestra de este trabajo se puede añadir el género como factor a tener en cuenta en la gravedad de las lesiones de las víctimas obteniéndose como resultado la Figura 150, donde se observa que las víctimas de género masculino que resultaron fallecidas y heridas graves supusieron el doble que las del género femenino.

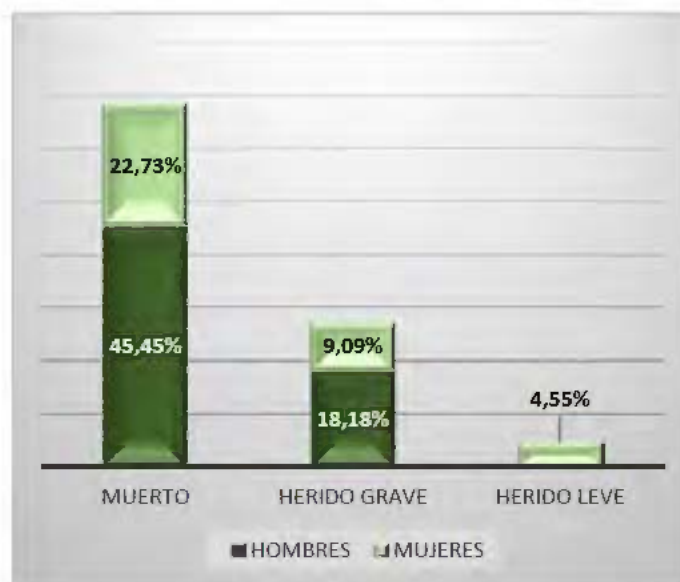


Figura 150: Distribución de la gravedad de las lesiones según el género de la víctima

En la muestra de esta tesis, la distribución porcentual del total de casos en el que resultó lesionada una determinada parte del cuerpo humano puede verse en la Figura 151. En primer lugar aparece la cabeza que resulta lesionada en el 68,18 % de los casos, mientras que le siguen las extremidades inferiores y el tórax con un 54,55%. Este último dato es sorprendente, sobre todo al realizar una comparación con otros estudios en profundidad llevados a cabo tanto en España como en otros países europeos. Quizás la explicación se encuentra en la propia distribución de la muestra que cuenta con bastantes casos de atropellos con resultado mortal, en cuyo caso las víctimas son objeto de una autopsia minuciosa que al abrir la cavidad torácica refleja detalladamente las lesiones internas que sufren las personas que sufren impactos de esta naturaleza.

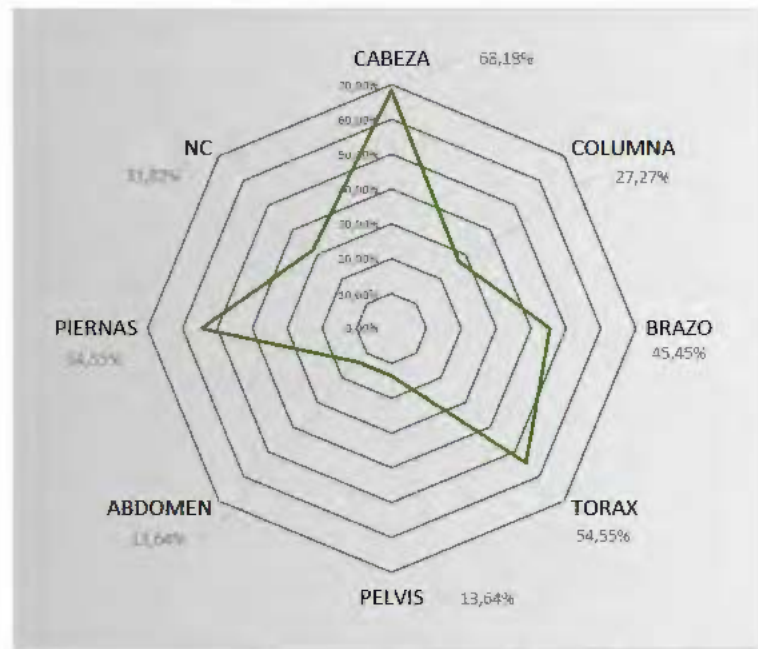


Figura 151: Distribución porcentual de los casos donde ha resultado afectada esa parte anatómica

En cambio si se atiende al número total de lesiones codificadas que constan en la base de datos que alcanza la cifra de 132, la distribución porcentual de esas lesiones entre las diferentes partes de la anatomía humana, que se puede ver en la Figura 152, ofrece un resultado semejante, aunque los porcentajes sean menores, al volver a ser las más numerosas las que se producen en la cabezas y el tórax. Resulta interesante resaltar que las piernas al estar separadas permiten diferenciar que la pierna que resulta más afectada es la derecha lo que es coherente con el dato de la posición lateral derecha de la mayoría de las personas en el momento del impacto.

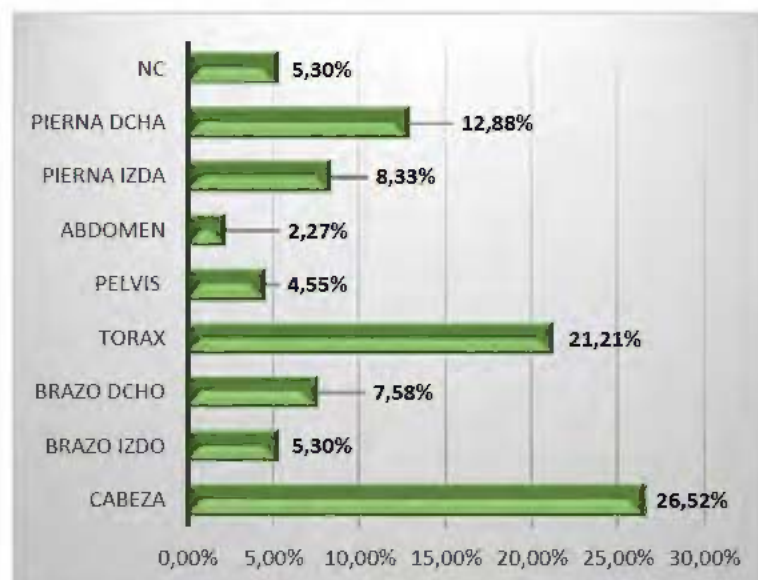


Figura 152: Porcentaje de la parte anatómica afectada sobre el número total de lesiones registradas

En el estudio Abida, que presentaba una mayoría de peatones clasificados como heridos graves, la distribución porcentual de las partes anatómicas afectadas puede verse en la (Aparicio Izquierdo, 2005, p. 8).

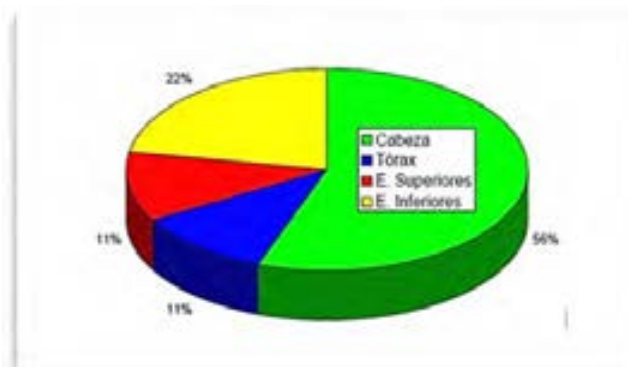


Figura 153: Distribución porcentual de las lesiones en el estudio Abida

En la Figura 57 inserta en el Capítulo IV de esta tesis, se puede observar la distribución de lesiones en atropellos a peatones en España, distinguiendo entre vías urbanas y vías interurbanas (Guerra, 2006, p. 8). Su análisis comparativo arroja una mayor afectación de la cabeza en la muestra de esta tesis y significativamente mayor en el tórax, lo cual no es más que una indicación de la mayor lesividad que tiene una frente a la otra. En cambio, las extremidades inferiores tienen porcentajes muy similares de afectación.

En el estudio GIDAS, cuya gráfica de distribución de lesiones puede observarse en la Figura 154, se puede ver una mayor frecuencia en las lesiones de las extremidades inferiores que llegan al 64 % seguido por la cabeza por un 50,5 %, porcentaje cruzados con los obtenidos en la muestra de la tesis, pero que resultan coherentes con sus resultados lesivos mayores y la amplitud de cada una de ellas.

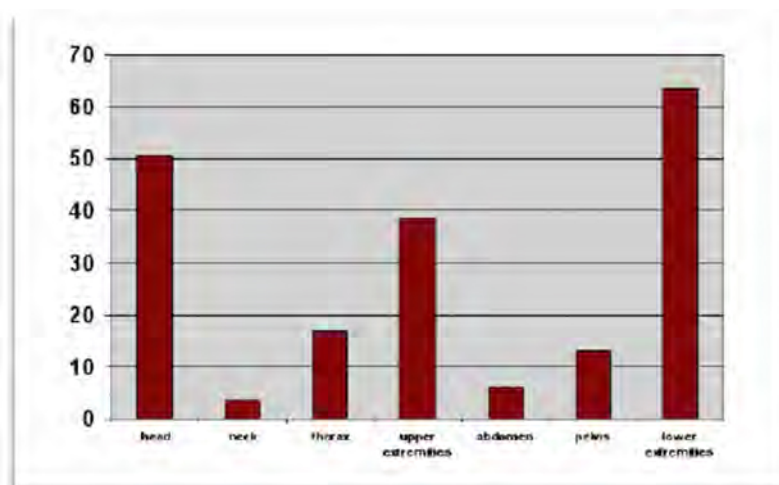


Figura 154: Distribución porcentual de lesiones en la base de datos GIDAS

Si se observa la Figura 155 correspondiente al estudio chino de la ciudad de Changsha los porcentajes son de lesiones observadas y en este caso se puede ver que la diferencia entre las extremidades inferiores y la cabeza se acortan, aunque no llegan a invertirse como sucede en la muestra de esta tesis.



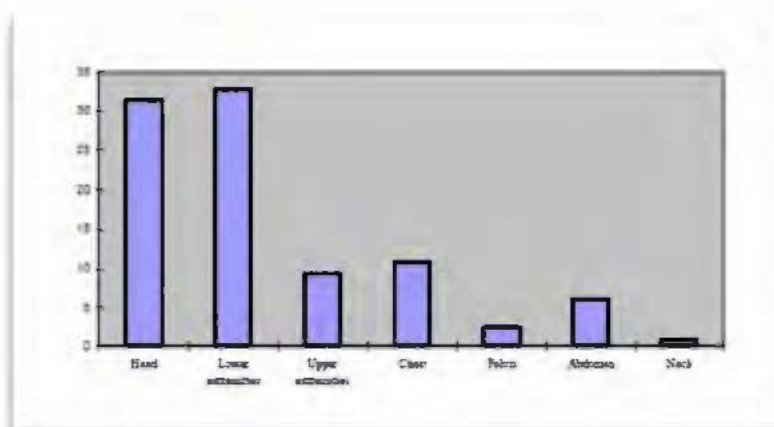


Figura 155: Distribución porcentual de lesiones en el estudio de Changsha

En la Figura 156 se puede observar una gráfica comparativa de los porcentajes de casos en los cuales ha resultado afectada cada parte anatómica del cuerpo del peatón. En primer lugar llama la atención que la superficie del polígono en color verde que se corresponde a la muestra de esta tesis es mayor que las otras tres y básicamente coincide con la gráfica correspondiente a GIDAS en amarillo salvo en las lesiones de columna y tórax debido a la mayor lesividad de los resultados de la primera muestra. El estudio Abida se queda en un nivel intermedio en las lesiones de cabeza y piernas de los dos anteriores con unos porcentajes inferiores. El estudio de Changsha tiene una forma semejante a la muestra de la tesis pero los porcentajes son menores, no superando el porcentaje de cien. Parece que el estudio de Changsha ha utilizado el porcentaje de lesiones registradas en cada parte anatómica en relación con el total de lesiones de la muestra, mientras que los otros utilizan el porcentaje de casos en los cuales se ha observado una lesión en esa parte anatómica.

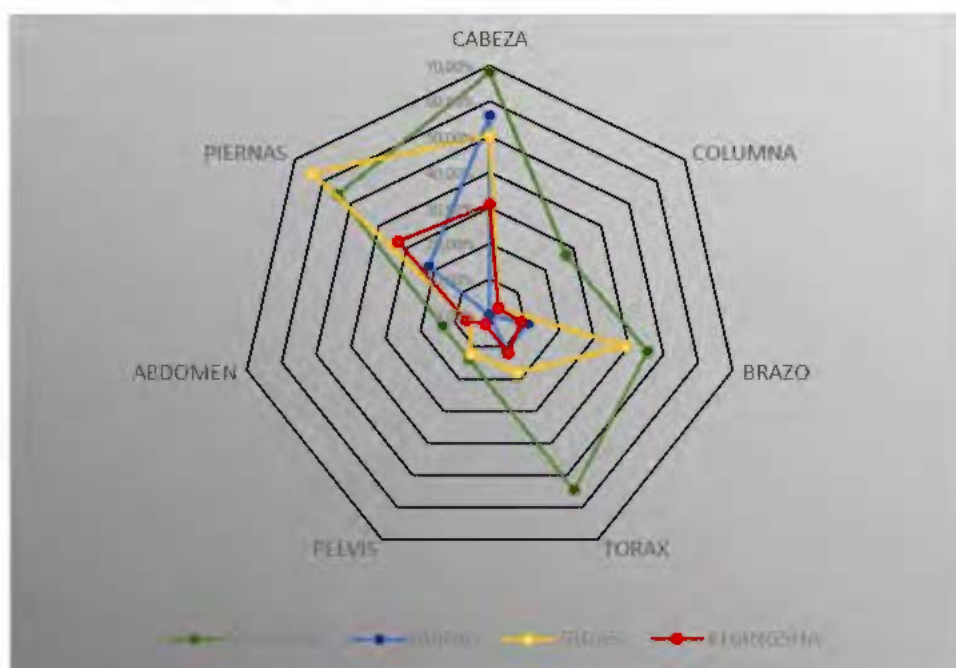


Figura 156: Comparativa de la distribución porcentual de lesiones en cuatro estudios en profundidad

No quedan cerradas con este análisis todas las posibles interrelaciones que existen entre diversas variables del sistema y las lesiones observadas en las víctimas, por lo que en el epígrafe dedicado al análisis de los datos de la simulación se profundizará en esta materia.

### 3. EVENTO CRÍTICO

El Evento Crítico es uno de los concepto clave del modelo MOSES por eso se ha realizado un estudio exhaustivo de este elemento en cada uno de los casos, de donde merece la pena resalta que el evento más frecuente es que cruce el peatón una carretera convencional fuera de un paso de peatones con un 25 %, seguido por la misma acción llevada a cabo en una vía urbana y la pérdida de control del conductor del vehículo con la invasión del arcén o de la acera.



Figura 157: Eventos Críticos identificados en la muestra

Realmente, si se observa atentamente 30 % de los eventos críticos están relacionados con la pérdida de control del vehículo por parte del conductor y el 70 % con la entrada y permanencia en la calzada del peatón.

En España, los datos globales correspondientes al año 2013, que se pueden observar en la Tabla 47, aportan como información relevante que la acción previa más frecuente es atravesar una intersección, pero en el caso de las víctimas que resultaron fallecidas su acción previa era cruzar la calzada fuera de una intersección (DGT, 2014, p. 141), lo que es coherente con los datos aportados por la muestra de esta tesis.



Tabla 47: Acción del peatón previa al atropello en los datos de la DGT correspondientes a 2013

	MUERTO	HERIDOS G.	HERIDOS L.	TOTAL
Atravesando intersección	69	522	2370	2961
Cruzando calzada fuera intersección	132	505	2104	2741
En arcén por su derecha	5	15	37	57
En arcén por su izquierda	10	15	31	56
En la calzada por su derecha	21	90	211	322
En la calzada por su izquierda	10	23	76	109
Trabajar en la calzada	4	10	53	67
Reparando vehículo	5	6	11	22
Subir o bajar de un vehículo	2	18	70	90
Sobre acera o refugio	20	87	438	545
Otra	62	301	1458	1821
Se ignora	38	461	3054	3553
<b>Total</b>	<b>378</b>	<b>2053</b>	<b>9913</b>	<b>12344</b>

Por otra parte, la administración norteamericana desarrolló una metodología de tipologías de atropellos en 1970 que tiene como concepto clave la acción del peatón o el evento crítico. Por este motivo en un estudio llevado a cabo entre 1998 y 2000 de atropellos a peatones en los que está implicado un solo vehículo en ese país la acción más frecuente es andar, jugar o trabajar en la calzada (Shankar, 2003, p. 24), lo que también es semejante a lo observado en la muestra.

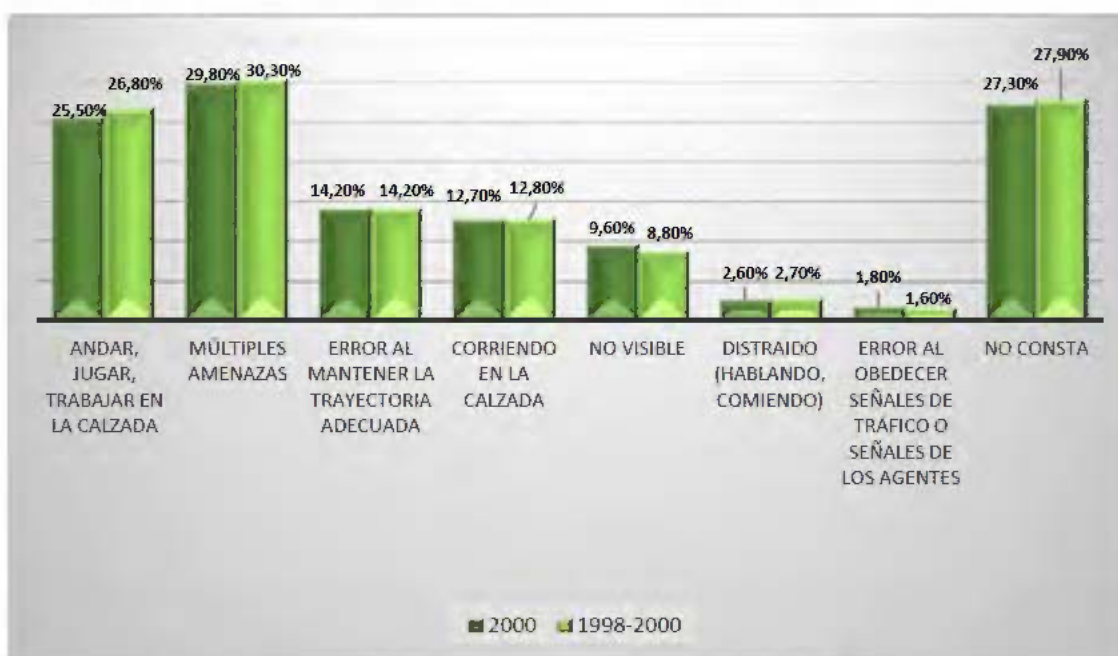


Figura 158: Acciones previas del peatón a su atropello

En todo caso, la edad condiciona el comportamiento del peatón y, por lo tanto, también tiene influencia en la acción que está realizando en la vía en el momento del impacto. Así, en un estudio en profundidad llevado a cabo en Alemania en 2002, mientras que en la mayoría de las ocasiones el peatón adulto al ser atropellado está andando, los niños al sufrir este tipo de eventos suelen estar corriendo (Otte, et al., 2003, p. 4):



Figura 159: Acción realizada por el peatón en el momento del atropello: adultos (derecha) y niños (izquierda)

En la muestra objeto de esta tesis, el peatón estaba andando en el 78,57 % de los casos y en 14,29 % estaba corriendo y en tan solo un caso se encontraba tumbado sobre la calzada. Al no tener ningún menor de edad en la muestra, es coherente que se aproxime a la gráfica de adultos de la Figura 159.

#### 4. POSICIONES SIGNIFICATIVAS

Una de las fortalezas del modelo MOSES es su sistema de análisis de los eventos del siniestro a través de la colocación absoluta y relativa de las posiciones que reflejan los mecanismos de procesamiento de la información y reacción humanas, por aplicación de la teoría del PIEV. Este proceso se realiza a través de una grabación en video del recorrido y las circunstancias del atropello, que es confirmado y completado mediante cálculos matemáticos basados en la cinemática.

##### 4.1 Posición Percepción Posible

En casi la mitad de los casos de la muestra, la Posición de Percepción Posible se encuentra entre los 26 y los 50 metros. Si consideramos que el vehículo pudiera circular a 50 km/h, recorrería 14 metros cada segundo, esto significaría que el conductor del vehículo tendría de 2 a 4 segundos de tiempo para percibir al peatón.

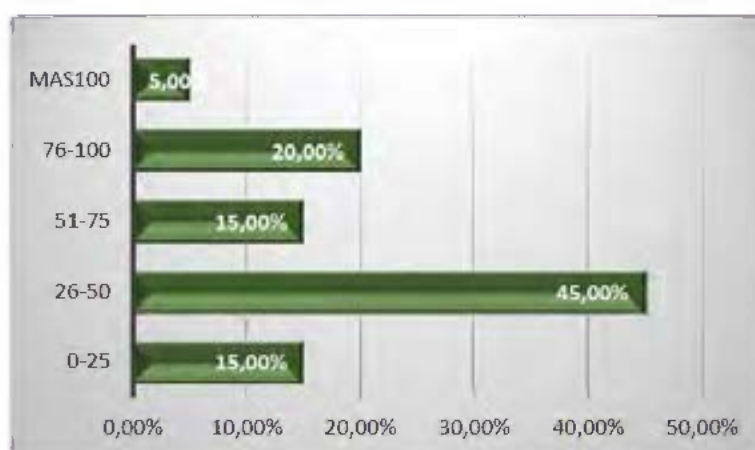


Figura 160: Porcentajes de casos de acuerdo con el PPP

La primera idea que se puede extraer de la observación de la Figura 160, máxime cuando se compara con los eventos críticos de la Figura 157, es que la mayoría de las causas, al contrario de la creencia popular y los estudios tradicionales, no se pueden



encuentran en el conductor sino en el comportamiento del peatón, de su evaluación de la trayectoria y velocidad del vehículo y de su percepción del riesgo.

## 4.2 Posición Percepción Real

Si el conductor disponía, generalmente, de 2 a 4 segundos para percibir al peatón y su trayectoria dentro de la calzada, Como se verá en los siguientes epígrafes si el tiempo de reacción de un conductor medio en condiciones normales oscila entre 0,5 a 1 segundo, realmente los márgenes de evitabilidad se estrechan considerablemente.

De hecho, las condiciones de visibilidad nocturnas producen un drástico acortamiento de la distancia de percepción posible, que se hace dramático cuando el peatón en zona interurbana no viste prendas de alta visibilidad, y que provoca que el conductor en circunstancias normales no tenga tiempo para realizar ninguna maniobra evasiva.

## 4.3 Posición Ejecución Decisión

Con los datos aportados sobre las Posiciones de Percepción Posibles y Reales de la muestra no puede sorprender que en la inmensa mayoría de los casos no se observe ninguna maniobra evasiva anterior al atropello.

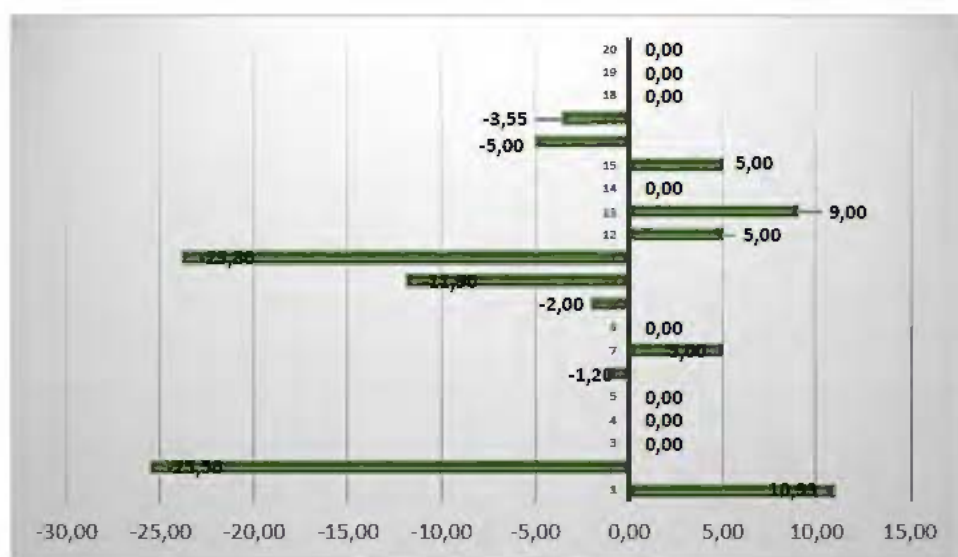


Figura 161: Distancia de la Posición de Ejecución de la Decisión al POI

En cambio, si es posible concluir que en la mayoría de los casos el conductor percibe al peatón muy cerca del punto de atropello y reacciona frenando o girando el volante simultáneamente al impacto o pocos metros después de haberse producido este. En la gráfica también figuran como simultáneos los casos en los cuales el conductor del vehículo se dio a la fuga con posterioridad al evento.

## 4.4 Posición No Escape

En un 20% de los casos de la muestra el PNE era anterior al PPP y por lo tanto el impacto era inevitable, de ellos en la mitad la distancia era amplia y la otra mitad estaban muy próximos, a menos de cinco metros, tal y como puede verse en la Figura 162. Pero

más trascendente es que el 35 % de los casos, aunque el PNE es posterior al PPP, no hay ni diez metros de margen entre uno y otro, de lo que se puede concluir que si bien formalmente no es inevitable el atropello, si se trata de una situación muy exigente para un conductor muy atento con sus capacidades psicofísicas en un óptimo estado, lo cual según se ha visto en el análisis del factor humano no son las condiciones que mayoritariamente se observan, especialmente en horario nocturno.

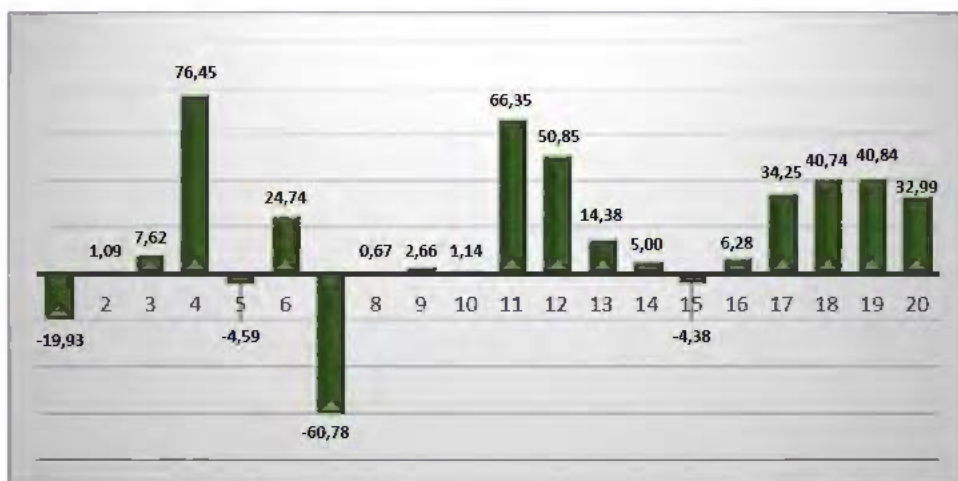


Figura 162: Distancia existente en metros entre el PPP y el PNE

Como se ha diferenciado, el concepto de inevitabilidad que se utiliza en este caso es de naturaleza científica, sin ningún tipo de implicación jurídica ni de responsabilidad personal desde el punto de vista siconormativo. Por ejemplo, en los datos del caso expuesto en el Anexo I, que es el primero de la Figura 162 muestran que el impacto es inevitable porque a 19,93 metros de que el peatón fuera visible para el conductor del vehículo la distancia de detención era superior a la distancia disponible, pero de acuerdo con lo expuesto en la Figura 164 su velocidad de atropello fue de 69 km/h en una zona que se encontraba limitada a 50 km/h por lo que los resultados del impacto y la gravedad de las lesiones eran, en gran parte, inevitables.

#### 4.5 Posición de Impacto

Las posiciones de impacto se encuentran mayoritariamente dentro de la calzada porque el peatón se ha introducido en la misma o permanece dentro de ella realizando alguna actividad, tan solo en un 30 % de la muestra que se corresponde con los casos en los que el conductor perdió el control del vehículo el POI está fuera de la calzada. Este hecho es determinante para cualquier conjunto de medidas preventivas que se pretenda poner en marcha.

#### 4.6 Posiciones Finales

Las posiciones finales, tanto del vehículo como del peatón, tienen como elemento clave y determinante la velocidad de impacto del vehículo. En las trayectorias postimpacto de envolvimiento pueden aplicarse diferentes modelos a partir de la medición de la distancia de proyección del peatón, o sea, la diferencia entre su posición final y el POI.



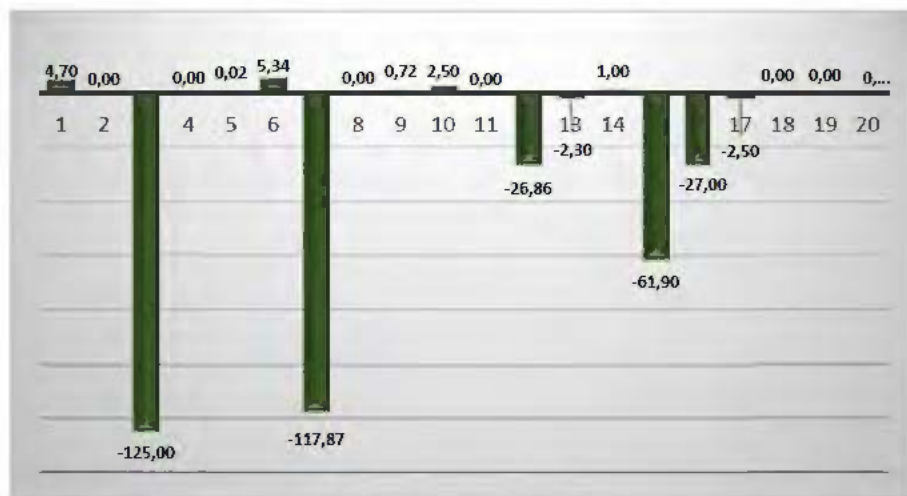


Figura 163: Distancia entre las posiciones finales del vehículo y del peatón

En la Figura 163 aparecen reflejadas como distancia nula, el treinta por ciento de los casos en los que el conductor se ausentó del lugar del atropello con posterioridad a los hechos impidiendo medir, fotografiar y registrar la posición final del vehículo.

## 5. RECONSTRUCCIÓN

En la reconstrucción técnica del atropello, una vez analizadas las posiciones clave, se pueden comparar las velocidades del vehículo en el momento del impacto, los resultados que ofrecen cada uno de los modelos utilizados, algunas variables biomecánicas y la propia clasificación tipológica.

### 5.1 Velocidad

La velocidad de impacto del vehículo, que ha sido comprobada mediante el uso de programa de simulación PC-Crash, se considera individualmente y se representa en la Figura 164, porque al seguir la metodología de confrontación de la distancia de proyección y la posición final del vehículo con las lesiones de la víctima y los daños del vehículo se aumenta el nivel de fiabilidad y exactitud de los cálculos, minimizando el margen de error.

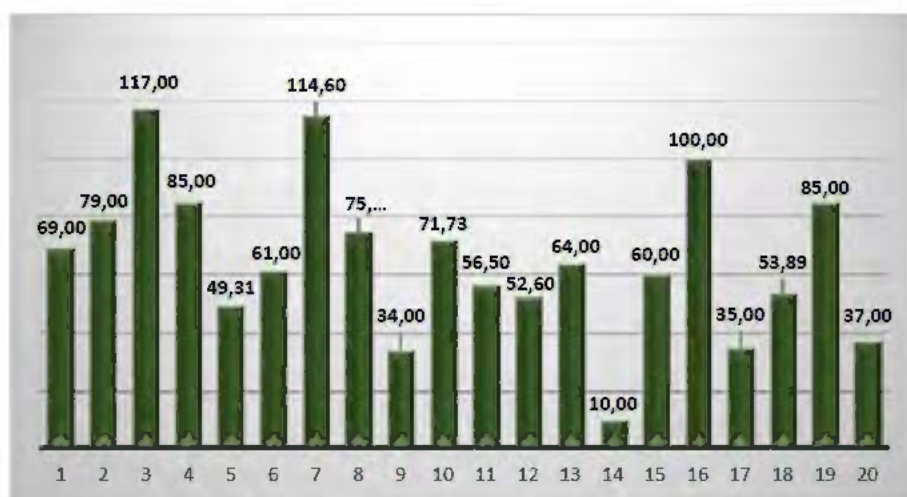


Figura 164: Velocidades de impacto de los vehículos estimadas con el programa de simulación



En cambio si atendemos, tan solo, a los casos en los cuales la trayectoria postimpacto fue de envolvimiento o salto mortal se pueden comparar los valores de las velocidades calculadas con el modelo de Searle, por el modelo estadístico de Simms-Wood y las obtenidas con PC-Crash. En la Tabla 48, se ofrecen los resultados y puede observarse que el modelo estadístico se ajusta mejor a los datos calculados por PC-Crash.

DISTANCIA DE PROYECCIÓN (m)	V VEH IMPACTO SEARLE (km/h)	V VEH IMPACTO ESTADISTICA SIMMS WOOD (km/h)	V VEH IMPACTO PC-CRASH (km/h)
39,20	67,72	79,20	69,00
34,00	62,43	73,84	79,00
75,00	107,39	108,45	117,00
23,65	51,82	61,63	61,00
84,13	98,74	114,60	114,60
41,00	79,70	80,96	75,00
19,10	52,96	55,28	71,73
15,50	41,60	49,61	56,50
17,64	44,51	53,07	52,60
25,00	53,32	63,37	64,00
18,30	45,37	54,08	53,89

386

De la misma forma, los casos de la muestra del estudio Sernauto también son exclusivamente urbanos, por este motivo la inmensa mayoría de los casos tenía una velocidad inferior a 50 km/h y el 43 % estaba por debajo de 30 km/h.

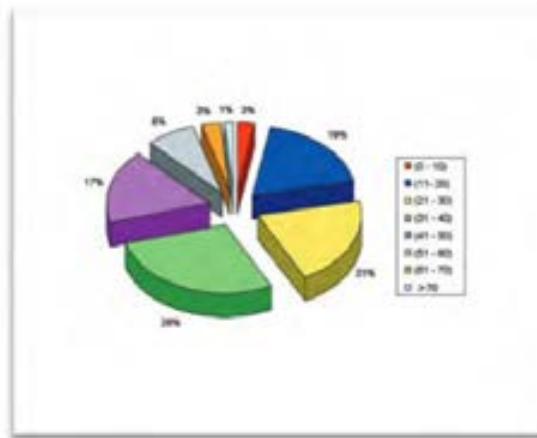


Figura 166: Velocidades de impacto del estudio Sernauto

La velocidad del vehículo en el impacto es un factor clave para determinar la trayectoria postimpacto y la severidad de las lesiones infligidas al peatón.

## 5.2 Biomecánica

Se han analizado las lesiones que se han ocasionado a las veintidós víctimas registradas en los veinte casos registrados en la base de datos, pero ahora se van a intentar poner en relación las partes del vehículo que ocasionan las lesiones en cada parte anatómica del peatón atropellado.

En lo que a la cabeza afecta se han registrado doce impactos correspondientes a once de los casos, tal y como puede observarse en la Figura 167.



Figura 167: Lugares de impacto de la cabeza del peatón con indicación de la gravedad de las lesiones



Si atendemos a la distribución gráfica de los impactos, se observa que la parte superior del cristal del parabrisas es menos lesiva en la cabeza que el resto del vehículo, pero no es suficiente para sacar conclusiones.

La estatura del peatón atropellado es determinante junto a la velocidad de impacto de la altura WAD donde golpea la cabeza, pero la supervivencia está relacionada con la edad, el género y la trayectoria postcolisión.

Tabla 49: Variables relativos a la biomecánica de impacto de la cabeza

NUM	EDAD	ESTATURA (m)	V VEH (km/h)	D proyección (m)	TIP. COD.	RESULTADO
1	66	1,60	69,00	39,20	AFOSRS	MUERTO
2	19	1,89	79,00	34,00	AFASRS	MUERTO
3	40	1,70	117,00	75,00	AFASLW	MUERTO
4	75	NC	85,00	8,20	AFOSRV	MUERTO
5	17	1,64	49,31	3,76	AFAGFF	MUERTO
5	18	NC	49,31	3,76	AFAGFF	HERIDO LEVE
6	61	1,60	61,00	23,65	AFASLW	MUERTO
7	77	1,50	114,60	84,13	AFOSRS	MUERTO
8	42	1,75	75,00	41,00	AFASRW	HERIDO GRAVE
9	76	1,60	34,00	9,28	HFOSLF	MUERTO
10	52	1,75	71,73	19,10	AFASRW	HERIDO GRAVE
11	46	1,75	56,50	15,50	AFASBW	MUERTO
12	72	1,60	52,60	17,64	AFOSBW	MUERTO
12	75	1,70	52,60	0,00	AFOSBW	MUERTO
13	23	1,68	64,00	25,00	ALASLW	HERIDO GRAVE
14	22	1,80	10,00	1,00	AFASFF	HERIDO GRAVE
15	56	1,65	60,00	0,00	AFALFF	MUERTO
16	19	NC	100,00	30,00	AFASFS	MUERTO
17	71	NC	35,00	3,00	AFOSBV	HERIDO GRAVE
18	32	NC	53,89	18,30	AFASBW	HERIDO GRAVE
19	65	NC	85,00	23,67	ALASLF	MUERTO
20	77	NC	37,00	14,00	VFOSFF	MUERTO

Todas las trayectorias postcolisión de envolvimiento y la mayoría de las de salto mortal han dejado un impacto de la cabeza del peatón en el capó, cristal o techo del vehículo.

En relación con las partes del vehículo que ocasionan las lesiones en la pelvis son mayoritariamente el capó y el frontal del vehículo, mientras que en las extremidades inferiores son el parachoques y las aletas.

### 5.3 Clasificación tipológica

La clasificación tipológica tiene una clara utilización en una base de datos y una aplicación estadística, a través de las capacidades de programa gestor de la base o a través de la utilización de una aplicación específica.

En el caso de la muestra la codificación se expone en la Tabla 50 y a simple vista puede afirmarse que la mayoría de los vehículos implicados era turismos automóviles (A), que atropellaron a la víctima con su frontal (F), víctima que por su edad era una persona adulta (A), que se encontraba erguido (S) cruzando o en el interior de la calzada

y en el cual la trayectoria postcolisión fue de envolvimiento (W) sobre el capó y el cristal del parabrisas.

*Tabla 50: Relación entre la codificación y velocidad del vehículo en el momento del impacto*

TIPOLOGIA CODIFICACIÓN	VELOCIDAD DE IMPACTO PC-CRASH
AFOSRS	69,00
AFASRS	79,00
AFASLW	117,00
AFOSRV	85,00
AFAGFF	49,31
AFASLW	61,00
AFOSRS	114,60
AFASRW	75,00
HFOSLF	34,00
AFASRW	71,73
AFASBW	56,50
AFOSBW	52,60
ALASLW	64,00
AFASFF	10,00
AFALFF	60,00
AFASFS	100,00
AFOSBV	35,00
AFASBW	53,89
ALASLF	85,00
VFOSFF	37,00

Esta codificación abriría la posibilidad de estudiar escenarios de atropello para esta configuración y poder adoptar medidas preventivas y paliativas para evitar las causas y mejorar las condiciones en las que se producen los atropellos correspondientes a esta tipología mayoritaria o a las que aparezcan en los estudios estadísticos masivos de la base de datos española en profundidad.

## 6. CONDICIONES Y CAUSAS

Las condiciones y las causas del siniestro vial no pueden establecerse aleatoriamente o sin ningún tipo de soporte fáctico o evidencia, sino que su existencia debe comprobarse a través del análisis de los diversos subsistemas del sistema vial, de las posiciones significativas y los datos ofrecidos por la reconstrucción y simulación informática

La falta de atención del conductor de vehículo como causa del atropello solamente podría establecerse, de acuerdo con una metodología científica y en una perspectiva sistémica, si se observa una distancia grande entre el PPP y el PPR, existiendo además un espacio adecuado del PPP con el PNE, pero además si se han realizado las pruebas de alcoholemia y drogas al conductor y si se le ha preguntado por la posible ingesta de medicamentos o por sus horas de sueño y descanso. En caso contrario, se podría atribuir como causa de un determinado caso la falta de atención del conductor, cuando las posiciones muestran lo contrario y además no se han podido realizar las pruebas de alcoholemia y consumo de drogas.

Uno de los más importantes hándicaps para el análisis estadístico de las causas y condiciones del atropello se encuentra en la decisión adoptada sobre la no adopción de un sistema cerrado de causas y la falta de codificación de ambas lo que impide hacer un detallado estudio cuantitativo de esta materia.

## **6.1 Condiciones**

Las condiciones que aparecen en el factor humano, tanto en el conductor como en el propio peatón, son principalmente el consumo de alcohol.

La falta de datos sobre el previaje y el viaje impiden que se pueda conocer el estado físico en relación con la fatiga, el sueño y el cansancio de los conductores y peatones, pero existe en los supuestos de atropellos nocturnos el motivo del desplazamiento suele ser el ocio y presupone más de veinticuatro horas sin haber dormido.

En la vía urbana los entornos de los pasos de peatones no están diseñados para hacer el campo de visión del conductor que circula por la calzada lo más amplio posible, y estos obstáculos pueden suponer una condición adversa para la percepción y localización temprana de la presencia de un peatón

En las vías interurbanas, las condiciones de visibilidad nocturnas reducen drásticamente la visibilidad de cualquier situación anómala o peligro en la calzada o en sus inmediaciones por debajo de los 50 metros, a pesar de que la mayoría de los atropellos de producen en tramos rectos.

En los vehículos, la condición desfavorable que más habitualmente se presenta es el estado irregular de los neumáticos por excesivo desgaste en, el menos, uno de los ejes del vehículo.

## **6.2 Causas**

En un veinte por ciento de los casos, personas jóvenes han sido atropelladas cuando andaban o cruzaban la calzada por conductores mayoritariamente jóvenes y en ambos casos se ha detectado el consumo de alcohol o drogas después de salir de una discoteca o lugar de ocio. Este consumo estaba también presente en algún conductor que atropelló a corredores que utilizaban la vía para practicar deporte en las primeras horas de un día festivo.

La vía urbana la decisión del peatón de atravesar la vía por un lugar no habilitado para ello, incluso en el caso de personas de edad avanzada, es el detonante del atropello, pero la causa que aparece en este caso es una mala evaluación de la distancia a la que se encuentra el vehículo y su velocidad de circulación.

Los conductores en el interior de los cascos urbanos no adoptan una estrategia de conducción segura para la seguridad de los peatones y superan los límites máximos de velocidad lo que implica que si el peatón entra en la calzada, con prioridad o sin ella, su reacción, en el mejor de los casos, solo les permite disminuir la velocidad de impacto, pero no el atropello.

En las vías interurbanas, la falta de percepción del peatón por parte del conductor en horario nocturno se agrava por la falta de cumplimiento de la obligación de los peatones de portar un chaleco retrorreflectante u otra prenda de alta visibilidad. Esta obligación debería extenderse a los peatones en vías interurbanas de día, porque aumenta la distancia a la que se sitúa la posición de percepción considerablemente.

En vías urbanas, la conducta social de incumplimiento reiterado de los lugares habilitados para cruzar las vías es una de las principales causas de los siniestros porque producen sorpresa al no ser previsible el movimiento y retardar la reacción del conductor.

La inexistencia de obligación del peatón de pararse en el paso de peatones antes de introducirse en la calzada hasta la total detención del vehículo que debe cederle el paso es una causa de atropellos que se producen estos lugares. El peatón tiene la prioridad de paso y entra en la calzada sin importarle y sin evaluar la distancia y la velocidad del vehículo y por lo tanto sin saber si al conductor del vehículo le da tiempo a poder detener su vehículo sin atropellarlo.

Las causas atribuidas al factor humano, tanto al conductor como al peatón, superan el noventa por ciento, mientras que las atribuidas a la vía, al vehículo y al sistema sacionormativo no alcanzan el diez por ciento.

### **6.3 Análisis sistémico de las variables del sistema vial**

En este caso pueden establecerse diversos perfiles de peatón y de conductor, que están relacionados con determinadas condiciones de la vía, con unas circunstancias sacionormativas y con unas condiciones de los vehículos implicados. Se han establecido los siguientes perfiles y condiciones más frecuentes de los diferentes subsistemas:

- Perfil peatón 1, edad avanzada, mayoritariamente de género femenino y se encuentra cruzando la vía.
- Perfil peatón 2, joven, generalmente de género masculino, va andando por el arcén o la calzada desde un lugar de ocio y generalmente, ha bebido o tomado drogas.
- Perfil peatón 3, adulto, mayoritariamente género masculino, se baja de un vehículo o está sobre la acera y sin consumo de alcohol.
- Perfil peatón 4, adulto, corredor, género masculino, va corriendo por el arcén o la calzada y sin consumo de alcohol
- Conductor 1, adulto, género masculino, sin consumo de alcohol, alguno de ellos conductor profesional.
- Conductor 2: joven, género masculino, con consumo de alcohol o que no se le puede realizar la prueba porque se da a la fuga, se mueve a un lugar de ocio.
- Vía 1, interurbana, nocturna
- Vía 2, urbana diurna y con obstáculos
- Vía urbana diurna mojado o con obstáculos.
- Vehículo 1, pérdida de control del vehículo, alguna vez se detecta un desgaste de neumáticos.
- Socionormativo 1, cruzar fuera del paso de peatones.
- Socionormativo 2, no llevar chaleco retrorreflectante.
- Socionormativo 3, velocidad excesiva.



De una forma gráfica se van a establecer las interrelaciones entre condiciones y estados de los subsistemas de acuerdo con una perspectiva sistémica.

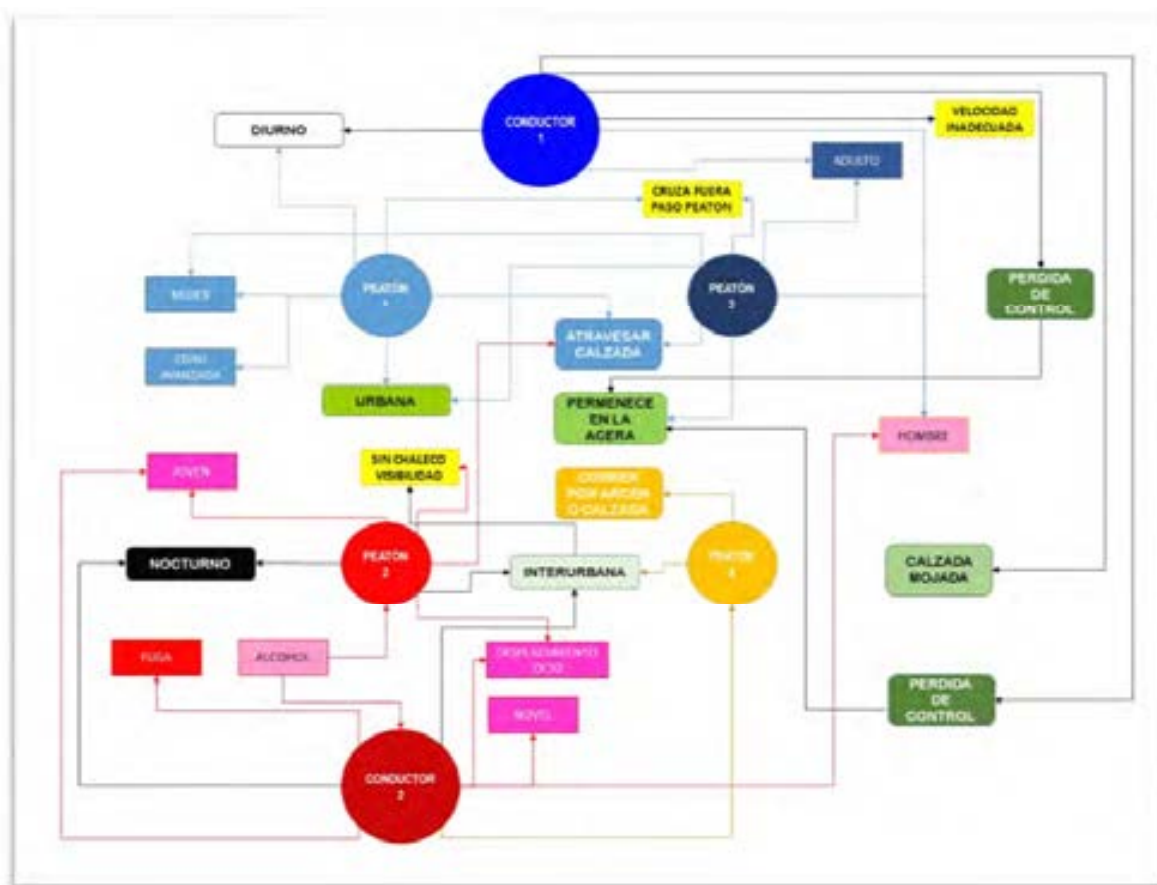


Figura 168: Modelo sistémico de interrelaciones de perfiles y condiciones de la muestra

En el modelo sistémico de esta muestra plasmado en la Figura 168 muestra dos perfiles diferentes de conductores y cuatro de peatones que interaccionan con arreglo a dos patrones diferentes.

Por un lado, el perfil del conductor que ha consumido alcohol o que se ausenta de lugar del atropello, joven con un vehículo en buenas condiciones que atropella a un peatón joven, en ocasiones también con consumo de alcohol, que se desplaza de noche sin prenda autorreflectante por una vía interurbana entre poblaciones en fiestas o en vía urbana cruza la calzada fuera de un paso de peatones a la salida de un local de ocio.

Por otro lado, el perfil del conductor adulto que no ha consumido alcohol que atropella a un peatón de edad avanzada que se desplaza de día por una vía urbana o a un peatón adulto que se ha bajado de su vehículo y atraviesa la vía en una vía urbana de noche o al anochecer.

## 7. CONCLUSIONES

Una vez expuestos los casos que conforman la muestra y el análisis comparativo interno y externo de las variables de interés se puede recapitular y formular las conclusiones a las que se ha llegado a lo largo de su contenido sobre todos los aspectos

que pudieran tener interés y relevancia para responder a cómo y por qué suceden los atropellos a peatones en nuestro país. A continuación se enumeran esas conclusiones:

- La fuente de datos de los casos reales utilizados como muestra para la validación del diseño del módulo de atropello a peatones de la base de datos avanzada la constituyen las Unidades de Investigación y Reconstrucción de Siniestros Viales de la Agrupación de Tráfico de la Guardia Civil, previa autorización y con la aplicación de un procedimiento exhaustivo y riguroso de disociación de datos personales.
- La muestra está constituida por veinte casos reales investigados y reconstruidos tanto en vías urbanas, como interurbanas y travesías a lo largo de la geografía española. Se ha insertado un resumen de cada caso con la descripción tipológica utilizada en esta tesis a efectos de clasificación de cada atropello.
- En relación con las características de la muestra, hay que reconocer que no es representativa de la estadística global, aunque la cantidad de variables y datos que se obtienen en cada caso pueden aportar una capacidad de análisis avanzada.
- En lo que respecta al factor humano, la variable edad de la muestra exhibe una gran similitud al dato y distribución global de España para las vías interurbanas. Se establecen dos perfiles de edad: uno correspondiente a jóvenes de entre 15 y 24 años mayoritariamente masculino y otro de personas de edad avanzada con una distribución femenina considerable. Los datos globales de distribución de edad de las personas atropelladas no son semejantes a la muestra, ni tampoco al estudio llevado bajo la coordinación de Sernauto, porque en ellos están sobrerrepresentados los casos con consecuencias graves. Finalmente, respecto a la edad cuando se comparan los resultados a nivel internacional, la muestra encaja mejor con los resultados de un país europeo de población envejecida, como Alemania, que como un país populoso en crecimiento, como China. La evolución del grupo de personas atropelladas de edad avanzada seguirá ganando peso total y relativo, salvo que se adopten medidas específicas preventivas en este colectivo. En lo referente a la estatura de los peatones, variable ligada a su género, puede afirmarse que los datos de la muestra están dentro del intervalo estadístico global de la población española y que esta variable debe ser valorada en relación con la WAD, la velocidad de impacto y el perfil del vehículo para determinar la localización del impacto de la cabeza del peatón en un atropello frontal típico.
- Dentro del factor humano, el análisis de las variables correspondientes al conductor ofrece como dato reseñable su juventud, ya que casi la mitad son menores de treinta años y como dato relacionado la antigüedad del permiso es menor de diez años en uno de cada tres, llegando incluso al extremo de la existencia de un diez por ciento de conductores noveles. Estos datos sugieren una relación entre formación en conducción de vehículos, experiencia en la conducción y la elección de una estrategia de conducción prudente y segura de cara a la aparición de un peligro inesperado o sorpresivo en la calzada. Por

último, en uno de los perfiles de conductor establecidos se apreciaba una importante tendencia al consumo de alcohol, especialmente por la noche, con uno de cada tres conductores de la muestra con un consumo de este tipo de sustancia, factor concurrente, también, en los conductores noveles referidos. Como es obvio el consumo de bebidas alcohólicas dificulta la percepción de una anomalía en la conducción normal de un vehículo, nubla la capacidad de juicio para realizar juicios acertados y enlentece las reacciones, aumentando el número de errores al realizar una actividad mecánica.

- El tipo de vehículo porcentualmente más numeroso es el turismo, seguido por el todoterreno y las furgonetas, lo cual es completamente coherente con los datos globales registrados a nivel nacional. A nivel internacional, los dos estudios utilizados muestran también al turismo como el tipo de vehículo más frecuentemente implicado en el atropello a peatones, pero con diferencias porcentuales significativas al ser el valor registrado en el estudio chino más de un veinte por ciento inferior. Si se atiende al porcentaje de casos en los que aparece dañada una determinada parte del vehículo hay sobresalen, por orden descendente, el parachoques, el capó y el cristal del parabrisas. Esta variable tiene una relación directa con las partes del cuerpo que son golpeadas e, indirecta, con la gravedad de las lesiones observadas en el peatón. Las comparaciones realizadas a nivel nacional e internacional ofrecen resultados semejantes en las partes afectadas y en el orden de frecuencia, pero se observan importantes diferencias en los porcentajes.
- En lo referente a la vía, el lugar del atropello más frecuente en la muestra es una carretera convencional de naturaleza interurbana de titularidad autonómica, aunque como es obvio esto no es representativo a nivel nacional donde predominan los atropellos en las vías urbanas. No existe una relación clara entre el atropello a peatones y la anchura de la calzada, aunque en un principio, pueda pensarse que en vías más amplias sea mayor la probabilidad de atropello. Existe una relación clara entre la luminosidad, por un lado, y la frecuencia y gravedad de los atropellos, por otro, siendo considerablemente mayor la gravedad en los que suceden de noche porque aumentan exponencialmente las dificultades para percibir el peligro que supone un peatón cruzando o andando por la calzada o el arcén.
- El principal conflicto en lo relativo al factor socionormativo que se observa en el comportamiento del conductor es su errada elección de la estrategia de conducción, lo que le lleva a conducir a una velocidad excesiva respecto a la permitida en la vía o en el tramo afectado, lo que le impide reaccionar a tiempo o le imposibilita paliar los efectos lesivos del atropello. En lo que respecta al peatón, en la muestra se constata que nunca vestía chaleco retrorreflectante o prenda de alta visibilidad, a pesar que en el treinta por ciento de los casos era obligatorio su utilización por tratarse de una vía interurbana en horario nocturno.
- El análisis de los registros de lesiones de las víctimas de atropello ofrece una información detallada sobre que regiones anatómicas sufren con mayor frecuencia las consecuencias de los impactos con los vehículos y con la calzada. Estos datos pueden ser utilizados para mejorar el comportamiento

del vehículo, tanto como productor directo de lesiones como por la trayectoria y la velocidad de salida que le transmite al peatón.

- La localización de las posiciones significativas en cada caso, de acuerdo con MOSES, permite establecer de forma científica si ha existido falta de atención, una mala evaluación de la situación, una mala ejecución de la decisión tomada o, simplemente, el impacto era inevitable.
- La reconstrucción técnica de los atropellos a peatones se puede realizar a modo de tanteo con la utilización de modelos empíricos, teóricos y estadísticos que permiten utilizar, junto a los datos de la inspección ocular, de las investigaciones adicionales y de los testimonios, un programa de simulación para comprobar la verosimilitud de la evolución completa de los eventos y sus condiciones a lo largo de todo el siniestro vial. La velocidad es una variable clave para la determinación de la gravedad de las consecuencias del atropello y para las lesiones ocasionadas a la víctima.
- Si se atiende a la clasificación tipológica empleada, el atropello más frecuente en esta muestra es el llevado a cabo por el frontal de un turismo que golpea a un peatón adulto en su lateral derecho cuando está cruzando la calzada de izquierda a derecha del vehículo y que sigue una trayectoria postimpacto de envolvimiento sobre el vehículo.
- Las causas y condiciones de la muestra son mayoritariamente atribuidas al factor humano, tanto al conductor como al peatón pero con preponderancia de las atribuidas a este último, le sigue las causas ligadas al sistema socionormativo, tanto a los incumplimientos de normas como a las lagunas en estas normas, a continuación vienen las circunstancias de visibilidad de la vía y, finalmente, los defectos de mantenimiento y el desgaste de los neumáticos de los vehículos.

La conclusión final de este capítulo es que el diseño del módulo de atropellos a peatones de la base de datos avanzada es factible en la realidad a día de hoy y que la muestra que se ha utilizado para realizar el análisis estadístico ofrece una riqueza de información sobre los atropellos a peatones, tanto en calidad como en cantidad, que constituye la validación del diseño realizado.



# Capítulo 7

## CONCLUSIONES Y FUTURAS LINEAS DE INVESTIGACIÓN

### I. CONCLUSIONES

Al finalizar esta tesis hay que recapitular y recordar la principal pregunta planteada en su Capítulo I ¿Cómo debe determinarse el diseño y la estructura de una base de datos sobre investigaciones en profundidad de casos reales de atropellos a peatones? La respuesta debe obtenerse, de acuerdo con los planteamientos metodológicos expuestos, analizando si se han alcanzado los objetivos, confirmando o rechazando las hipótesis planteadas para responder a las cuestiones derivadas que deberían permitir enumerar las conclusiones finales de este trabajo

#### 1. CONCLUSIONES GLOBALES

Las conclusiones globales de la tesis deben ser por lógica breves, concisas y no excesivamente reiterativas. Su objetivo principal es realizar una exposición de las principales ideas fuerza que se han alcanzado a lo largo de toda esta tesis.

- Se ha establecido el armazón conceptual del modelo MOSES, que considera que el siniestro vial es un conjunto multilineal de secuencias de eventos que puede ser reconstruido física y dinámicamente estableciendo simultáneamente en cada evento las condiciones presentes en cada subsistema que compone el sistema dinámico de tráfico para conseguir determinar con arreglo a este método cómo y por qué sucedieron los hechos.
- El principal objetivo de MOSES es servir como lenguaje común para que pueda existir una autentica investigación multidisciplinar del siniestro vial, aplicable en la realidad sin renunciar a las exigencias del método científico.
- La solución propuesta en esta tesis para abordar los problemas que la siniestralidad vial es un sistema avanzado de investigación en profundidad que integre junto a la investigación policial, el apoyo y la investigación de una Red de Centros Científicos de Referencia que mejoren sustancialmente el nivel micro de la investigación. Las finalidades de las instituciones públicas, privadas y las empresas pueden armonizarse y complementarse entre sí, sin exclusiones ni imposiciones. La mejora de la investigación básica y la innovación en esos Centros de Referencia vendrían de la mano del acceso



y uso de los datos obtenidos para ampliar y renovar sus conocimientos de la realidad de los siniestros viales en España.

- La metodología de la investigación de siniestros viales utilizada en esta tesis comienza por el procesamiento de la escena de los hechos, continúa con las investigaciones complementarias para ampliar y complementar los información obtenida en el procesamiento, en las cuales participan diferentes instituciones, centros y profesionales, lo cual aporta un conjunto de datos necesarios para afrontar las hipótesis que permitirán realizar una reconstrucción técnica de los eventos y acciones de acuerdo con el modelo MOSES y finalmente realizar un análisis de las causas y condiciones que explican por qué ha sucedido el siniestro vial investigado.
- Se ha formulado una clasificación tipológica de los atropellos a peatones, completamente original, que permite, con un simple código alfanumérico de seis letras, comprender cuál ha sido la dinámica preimpacto y postimpacto del cuerpo del peatón, su interacción con el vehículo que variara dependiendo de su perfil y su geometría y los factores personales que concurren en el peatón. Se puede utilizar en el análisis estadístico de las variables de una muestra real.
- El estudio biomecánico del impacto entre un vehículo y una persona es complejo, a pesar de lo cual, puede establecerse que, con carácter general, consta de tres fases claramente diferenciada que pueden conllevar múltiples trayectorias postimpacto del cuerpo del peatón. El movimiento del peatón después del impacto puede ser analizado, con ciertas simplificaciones, siguiendo dos tipos principales de trayectorias: la proyección horizontal y movimiento parabólico. Para determinar la velocidad del vehículo en el momento del impacto con el peatón en cuatro categorías diferentes los diferentes modelos de cálculo: físico-matemáticos, estadísticos, empíricos e informáticos avanzados.
- Con un caso práctico real se ha conseguido aplicar tanto el modelo como la metodología a la investigación a un atropello a un peatón, como ejemplo de una concreta tipología de siniestros viales. El supuesto desarrollado permite demostrar que es posible la hipótesis planteada en este trabajo y que el sistema de investigación, aquí propuesto, es viable bajo determinadas condiciones.
- La viabilidad de la metodología de investigación de acuerdo con el modelo MOSES aplicada por los investigadores de la Agrupación de Tráfico de la Guardia Civil no puede obviamente ocultar que este camino no está exento de dificultades y problemas, que van desde la recogida de información, especialmente en lo que afecta a las fases de previaje y viaje, hasta el análisis de las causas, que carece de una codificación precisa como en otros modelos, pasando por la reconstrucción técnica basada en datos precisos, claros y concretos. Al contrario de lo que podría parecer estos, y otros, obstáculos no suponen más que una luz que muestra los puntos que deben superarse para establecer líneas de mejora continua.

- Una base de datos y su correspondiente sistema de información presenta una complejidad en su diseño, creación y mantenimiento que es proporcional a las dimensiones de la organización o institución a la que pretende dar servicio, de las personas que la alimentan, mantienen o explotan y de la variedad y número de usuarios finales.
- La Base de Datos Avanzada sobre Siniestros Viales (BEDAS) es una visión de una posible manera de configurar una hipotética base de datos pública sobre investigaciones en profundidad de siniestros viales en España. Su estructura teórica es un equilibrio entre el deber ser, una perspectiva utópica o a largo plazo, y el ser, lo que realmente puede plantearse a día de hoy.
- Las posibles utilidades de BEDAS son, principalmente, las cuatro siguientes: primero, el desarrollo en base a datos científicos de los planes estratégicos de seguridad vial; segundo, la adopción de medidas preventivas, directas, a cada caso analizado o, indirectas, para una tipología concreta de siniestros viales; tercero, el desarrollo de proyectos específicos que utilicen como materia prima los datos de esta base para profundizar el análisis o desarrollar productos finales y, cuarto, la potenciación de la investigación en nuestro país en el marco de la política I+D+I.
- La creación y desarrollo de BEDAS no estaría exenta de problemas y dificultades, entre ellos, los que tienen que ver con los recursos humanos y materiales y el cumplimiento de la normativa europea y española de protección de datos personales. Los criterios de la estructura interna del módulo específico de atropellos a peatones de BEDAS servirían para toda la base, aunque obviamente el número de variables a definir y registrar sería mayor.
- La fuente de datos de los casos reales utilizados como muestra para la validación del diseño del módulo de atropello a peatones de la base de datos avanzada la constituyen las Unidades de Investigación y Reconstrucción de Siniestros Viales de la Agrupación de Tráfico de la Guardia Civil. La muestra está constituida por veinte casos reales investigados y reconstruidos tanto en vías urbanas, como interurbanas y travesías a lo largo de la geografía española.
- El análisis de las variables recogidas en el módulo de atropellos a peatones de la base de datos avanzada permite concluir que el diseño expuesto en este trabajo es realista y que la muestra que se ha utilizado para realizar el análisis estadístico ofrece una riqueza de información sobre los atropellos a peatones, tanto en calidad como en cantidad, que constituye la validación del diseño realizado.

## **2. HIPOTESIS DE LA TESIS**

La primera cuestión derivada planteada era literalmente la siguiente ¿Puede el modelo secuencial de eventos del siniestro vial ser una representación clara, precisa y fiable de la realidad y, simultáneamente, una guía de orientación sencilla, práctica y útil

para la investigación de casos reales? Se planteó una hipótesis afirmativa como respuesta a esta pregunta.

En el Capítulo II se realizó un análisis exhaustivo y riguroso de las diferentes familias de modelos teóricos aplicados al siniestro, en términos generales, y al siniestro vial, en particular, para conseguir establecer un modelo propio denominado MOSES, que se trata de un modelo secuencial de eventos que aplica conceptos propios de los modelos epidemiológicos, pero en el que prima una perspectiva sistémica del fenómeno. Este modelo puede considerarse, al menos en términos teóricos, una representación fiable de cualquier tipo de siniestro vial. En el modelo MOSES se han tenido en cuenta varias teorías procedentes de diversos campos del saber, en primer lugar la teórica psicológica de la asimilación de información y la decisión por parte de los seres humanos, denominada aquí Teoría del PIEV, además de integrar a MOSES en la Teoría General de Sistemas, procedente de las ciencias naturales, pero además se han aceptado paradigmas de las ciencias que implícitamente han estado ahí durante varios siglos, como por ejemplo la física newtoniana, y, por otro lado, las nuevas teorías sobre la deformación elastoplástica de los cuerpos o el rozamiento entre dos superficies.

En el Capítulo III se formuló una metodología de la investigación aplicable a la investigación de casos reales de todo tipo de siniestros viales que utilizó al modelo MOSES como guía y como objetivo de la información y los datos a obtener con el uso ordenado y rutinario de esta metodología. Por lo tanto, desde el punto de vista teórico, quedaba respondida afirmativamente la segunda parte de la primera cuestión.

No obstante faltaba realizar una aplicación práctica de lo expuesto en los capítulos segundo y tercero, para lo cual en el Capítulo IV se aplicó teórica y prácticamente, tanto el modelo como la metodología al atropello a peatones, como tipología especialmente problemática.

De esta forma se puede analizar sistemáticamente el siniestro vial como fenómeno, teniendo como premisa un marco conceptual válido que ha servido para desarrollar un nuevo modelo integrado y que va a orientar la metodología de investigación aplicable al mismo.

La segunda cuestión se planteó con el siguiente tenor ¿La metodología de la investigación de siniestros viales basada en MOSES permite recabar una información de calidad, tanto cuantitativa como cualitativa, sobre casos reales que permita catalogarlas como una investigación en profundidad? De nuevo, se planteó una hipótesis afirmativa como respuesta a esta pregunta.

La metodología de la investigación de siniestros viales se desarrolló en el Capítulo III, basándose en el modelo MOSES definido en el capítulo previo, y se estableció una estructura de protocolo de procesamiento de la escena del siniestro y las principales investigaciones adicionales a practicar. Esta metodología es aplicada en la práctica en las investigaciones y reconstrucciones del DIRAT y del ERAT de la Agrupación de Tráfico de la Guardia Civil.

La segunda parte del Capítulo IV está, íntegramente, dedicado a la aplicación de esta metodología a un caso real de atropello ocurrido en una vía urbana, investigado por el DIRAT de la Escuela de Tráfico de la Guardia Civil.

El diseño del módulo de atropellos a peatones de la base de datos expuesto en el Capítulo V, junto al modelo de informe de datos de un caso real incluido en el Anexo I permite concluir que tanto por la calidad de la información que se contiene como por la extensión y profundidad de los datos recopilados, la investigación, conducida de esta forma, puede clasificarse dentro del nivel en profundidad. Esta afirmación se ha visto confirmada en el Capítulo VI donde se ha realizado un análisis estadístico a una muestra de veinte casos que permite concluir que la investigación que le sirvió de base se encuentra dentro del nivel en profundidad homologable a cualquier otra que se lleve a cabo en Europa, tal y como se había expuesto en el estado del arte de la metodología de la investigación expuesta en el Capítulo III.

La tercera cuestión se puede formular de la siguiente manera, ¿Pueden aplicarse el modelo definido y la metodología especificada a una tipología, especialmente complicada desde el punto de vista heurístico, como el atropello a peatones? La respuesta a esta pregunta se formuló en términos, exclusivamente, afirmativos.

El Capítulo IV está enteramente dedicado a dar respuesta a esta cuestión. En primer lugar se presentó el estado del arte de la investigación de atropellos a peatones, para después aplicar la metodología expuesta en el Capítulo III, tanto desde el punto de vista teórico como de una forma práctica a un caso real de atropello.

En el Capítulo VI la muestra de veinte casos está, exclusivamente, compuesta por atropellos a peatones, a los que se ha aplicado la metodología de investigación y el modelo MOSES, que ofrece una estructura individual de información que se ha expuesto en el Anexo I.

De esta forma se confirma la afirmación que sirve de respuesta a la cuestión planteada, se ha podido aplicar el modelo y la metodología, tanto teóricamente como en la práctica, a casos reales de atropellos a peatones y el resultado final puede calificarse como altamente satisfactorio, aunque tanto en el registro de datos como en la configuración del propio sistema de investigación haya un largo camino por recorrer.

La cuestión principal de la tesis era ¿Cómo debe determinarse el diseño y la estructura de una base de datos sobre investigaciones en profundidad de casos reales de atropellos a peatones? La hipótesis defendida era que el diseño de esa base de datos en profundidad debe hacerse siguiendo una metodología científica, basada en un modelo predeterminado de siniestro vial y en un método de investigación realista y aplicable en un sistema de investigación definido.

El Capítulo V expone la configuración abstracta de diversas bases de datos, tanto a nivel nacional como europeo, que registran la información sobre investigaciones en profundidad o proyectos de esta naturaleza. A partir de ese conocimiento se formula una estructura para el módulo de atropello a peatones en una base de datos avanzada a desarrollar en el marco de un sistema de investigación sobre siniestros viales a nivel nacional.

La metodología teórica quedó perfilada en el Capítulo III, con carácter general, y en el Capítulo IV, con carácter particular para los atropellos a peatones, y con ella se

pretende conseguir la información necesaria para poder aplicar a cada investigación de caso el modelo MOSES.

El Capítulo VI con su muestra compuesta con los datos registrados de la investigación y reconstrucción de veinte casos reales demuestra que el modulo y, por extensión, la base de datos ha conseguido su propósito de llegar al nivel en profundidad y constituir el embrión de base de datos avanzada que es factible desarrollar en un futuro cercano.

*Tabla 51: Validación de hipótesis planteadas en esta tesis*

N°	Hipótesis	Teorías y modelos	Casos de estudio	Cuerpo de la tesis	Resultado
H1	El modelo secuencial de eventos del siniestro vial es una representación clara, precisa y fiable de la realidad y, simultáneamente, una guía de orientación sencilla, práctica y útil para la investigación de casos reales	PIEV TGS Domino Epidemiología MOSES	20096301 desarrollado en Cap. IV  20122201 en Anexo I	Cap. II Cap. III Cap. IV	Confirmada
H2	La metodología de la investigación de siniestros viales basada en MOSES permite recabar una información de calidad, tanto cuantitativa como cualitativa, sobre casos reales que permite catalogarla como una investigación en profundidad	MOSES MITOS	Veinte casos analizados en Cap. VI	Cap. III Cap. V Cap. VI	Confirmada
H3	El modelo definido y la metodología especificada se puede aplicar a una tipología, especialmente complicada desde el punto de vista heurístico, como el atropello a peatones	MOSES MITOS	20096301 desarrollado en Cap. IV  20122201 en Anexo I	Cap. IV Cap. VI	Confirmada
HG	El diseño y la estructura de una base de datos sobre investigaciones en profundidad de casos reales de atropellos a peatones debe estructurarse científicamente sobre un modelo y una metodología aplicable en la realidad en el marco de un sistema de investigación	MOSES MITOS Modulo peatones BEDAS	Veinte casos analizados	Cap. V Cap. VI	Confirmada

A modo de resumen puede afirmarse que el objetivo principal de esta tesis que era conseguir establecer el diseño conceptual de una base de datos avanzada sobre atropellos a peatones basada en un modelo preestablecido de siniestro vial y teniendo en cuenta las posibilidades y limitaciones de la metodología de investigación en profundidad aplicada ha sido alcanzado, al haber podido confirmar todas las hipótesis de partida.

## II. FUTURAS LINEAS DE INVESTIGACIÓN

Esta tesis, como todas las tareas y trabajos humanos son limitados por definición, por lo tanto no es más que el inicio de diversos caminos que no acaban sino de comenzar. Es necesario dejar apuntadas las principales líneas de investigación que pueden seguirse a partir o de forma complementaria con el contenido de este trabajo.

## **1. EL MODELO DEL SINIESTRO VIAL**

La Teoría General de Sistemas tiene cada vez una mayor aceptación en todas las ramas del saber, pero en la modelización de siniestros y en los análisis de seguridad la perspectiva sistémica se ha hecho prácticamente hegemónica. Por este motivo, aunque MOSES utiliza explícitamente esa perspectiva en el modelo y en su aplicación en la práctica, será necesario seguir profundizando en los conceptos y en la búsqueda de las complejas interrelaciones que ocurren en los subsistemas del sistema vial para que se produzca el siniestro vial.

El aspecto de la metodología de investigación que más claramente necesita un desarrollo posterior es la clasificación y codificación de las causas de los siniestros viales. En esta tesis se ha optado por no adoptar ninguno de los sistemas de análisis y codificación de causas de siniestros que se utilizan en Europa, ya sea a nivel nacional o en proyectos europeos. Esta decisión se ha adoptado para permitir a los investigadores una mayor libertad para ahondar en el análisis de las causas y condiciones buscando no solo las que resultan más evidentes y directas, sino también aquellas que no se muestran fácilmente e, incluso, las que habitualmente permanecen ocultas por falta de información y datos recopilados sobre esos aspectos en la fase de procesamiento de la escena de los hechos, la toma de manifestaciones a los implicados y testigos y en las investigaciones adicionales y ampliatorias. Por ejemplo, hay países como Australia en los que las autoridades sanitarias y los médicos deben declarar a la autoridad responsable de la expedición y renovación de los permisos de conducción cuando recetan una serie de medicamentos declarados incompatibles con la conducción de vehículos o cuando diagnostican alguna patología que pone en riesgo a la persona que la sufre cuando se ponen al volante de un vehículo. La disponibilidad de esta información a lo largo de las investigaciones en profundidad permitiría determinar cuál es su incidencia real en las causas reales de los siniestros viales, porque sin esta posibilidad hablar del estado psicosomático de los conductores como causa del siniestro vial es una entelequia sin ninguna aplicación práctica.

## **2. METODOLOGIA DE LA INVESTIGACIÓN**

La aportación de datos por parte de los investigadores, a través de testimonios o registros documentales, sobre el previaje y el viaje es uno de los aspectos que pueden mejorar mucho en la metodología práctica de las Unidades de Investigación de la Agrupación de Tráfico de la Guardia Civil. Con esa información se tendría acceso a evidencias sobre el cansancio, la fatiga y el sueño, que normalmente no aparecen entre las causas de los siniestros viales, a modo de cifra negra y también se podría conocer aspectos subjetivos sobre la prisa o el nivel de riesgo subjetivo asumido por los conductores y usuarios en su ruta o viaje. Este aspecto, aparentemente sencillo, puede variar de forma considerable la visión actual de las causas de los siniestros viales, para adoptar una perspectiva que sea verdaderamente multidisciplinar y sistémica.



Los datos sobre lesiones de las víctimas de los siniestros viales, ya sean peatones, o conductores y ocupantes de todo tipo de vehículos, es un campo que necesita un nivel mayor de detalle y estandarización. Esta necesidad, que ya fue puesta de manifiesto en el proyecto STAIRS, abarca tanto a los centros sanitarios a los que son trasladados los heridos como a los órganos forenses que realizan las autopsias a los fallecidos en siniestros viales. La coordinación ejercida, efectivamente, por una institución o un órgano de la administración pública puede materializarse en una codificación sistemática de todas y cada una de las lesiones de las víctimas con independencia del órgano o institución que realmente genera o gestiona esa información.

Con respecto a la investigación adicional de los vehículos la ampliación de las variables de medición de la Inspección Técnica de Vehículos para abarcar la electrónica del motor y otros de sus sistemas integrantes mejoraría desde la prevención las cifras de siniestralidad, pero también permitiría tener acceso a la información detallada del funcionamiento previo del vehículo.

La obligatoriedad en Europa, al menos al mismo nivel que en Estados Unidos de Norteamérica, de un sistema de grabación de datos sobre eventos (EDR) en todo tipo de vehículos, que permitiría acceder a la información registrada en el vehículo en los instantes previos al impacto constituiría una de las líneas de investigación que aportaría una mayor calidad a la investigación de siniestros viales sobre todo para permitir la reconstrucción de los eventos que lo constituyeron y determinaron y para conocer en mayor profundidad la contribución del comportamiento del vehículo a sus causas. De la misma forma el acceso a la información de la memoria del bus de datos de los vehículos por los investigadores policiales, permite tener datos de muy alta calidad para la simulación y reconstrucción del siniestro vial y conocer en profundidad el funcionamiento de los vehículos ante un impacto. Esta información registrada en bases de datos públicas permitiría mejorar directamente la seguridad vial en Europa, el diseño y comportamiento de los vehículos, la calidad de las investigaciones y reconstrucciones de siniestros viales y la publicación de normativas y estándares de homologación con una mayor base en la realidad.

El establecimiento de la velocidad de impacto, de las posiciones finales del peatón y del vehículo permitiría establecer con exactitud la localización del POI, y a partir de él todas las demás posiciones significativas de los eventos del siniestro vial y de esta forma mejoraría exponencialmente el conocimiento científico de las causas de este tipo de fenómenos.

### **3. INVESTIGACIÓN DE ATROPELLOS A PEATONES**

En la metodología de la investigación, los protocolos aplicables en la fase de recogida de datos y en las investigaciones adicionales tienen un amplio margen para la mejora, sobre todo por la inclusión de avances tecnológicos y de técnicas ligadas a ellos. Por ejemplo, la tecnología de levantamiento de escenas de siniestros viales con un escáner de barrido tridimensional o la fotogrametría aplicada a las deformaciones y daños del vehículo.

Un punto clave en la investigación y reconstrucción de atropellos a peatones es la determinación lo más exacta posible del punto de impacto que permite que la aplicación de modelos físico-matemáticos o estadísticos sea considerablemente más precisa y fiable.

De la misma forma, la evolución del diseño de los vehículos, de su estructura y de los materiales utilizados obliga a la continua actualización de los modelos de cálculo utilizados, especialmente los que se basan en estudios estadísticos.

A partir de la información registrada en el módulo de peatones de la base de datos avanzada se pueden implementar modelos estadísticos que permitan analizar las relaciones entre las deformaciones del vehículo, las lesiones del peatón y el mecanismo lesional, así como otras variables de interés como pudiera ser la estatura y la edad del peatón o la velocidad de impacto y la geometría del vehículo.

A este respecto, una línea de investigación que cobra cada vez mayor importancia consiste en la utilización de la información de la base de datos para servir de enlace con otros estudios de simulación con programas más potentes en su módulo de cálculo y en los modelos que utilizan para poder tener mejores datos de salida que permitan comprender mejor la biomecánica de impacto, los mecanismos lesionales y los umbrales de tolerancia a la lesión para mejorar las normativas de estandarización, los ensayos de homologación de vehículos y su diseño.

#### **4. LA BASE DE DATOS AVANZADA**

El principal desarrollo que puede realizarse a partir de esta tesis con la base de datos diseñada es conseguir implementarla en la realidad, cuestión que como ha quedado claro no es ni fácil ni sencillo.

Uno de los pasos clave de índole jurídica, técnica y de gestión necesario para desarrollar esta base de datos sería la creación de la Red Española de Centros Científicos de Referencia (RECECIR), que crease una sinergia en torno a la investigación de siniestros en España.

#### **5. ESCENARIOS DE ATROPELLOS**

El concepto de escenario tipo se ha venido desarrollando progresivamente desde los años ochenta, tanto en Francia como en Estados Unidos, llegando a tener, en la actualidad, un más que aceptable nivel de claridad. Un escenario tipo se define como un conjunto prototípico de siniestros viales que presentan similitudes, desde un punto de vista global, en la secuencia de eventos y en sus relaciones de causalidad, a lo largo de las diferentes fases que conducen a la colisión (Brenac & Fleury, 1999, p. 68).

En realidad, en esta metodología se trata de conseguir un prototipo de los procesos que conducen a un determinado tipo de siniestro vial, o en otras palabras, es un modelo de proceso de desarrollo de este tipo de sucesos caracterizado por semejanzas en la cadena de eventos, en las acciones, en las relaciones causales y en las consecuencias en términos de lesiones a las personas y daños a sus propiedades. El término prototipo, en este contexto, se utiliza en el mismo marco de referencia que en la psicología cognitiva con el objetivo de enfatizar que los escenarios de siniestros viales son construcciones abstractas que muestran las características principales de una serie de hechos de esta naturaleza que presentan similitudes, y no de un proceso particular o un siniestro concreto, detrás de cada uno de ellos (Brenac & Fleury, 2001, p. 272).

Diversas instituciones y empresas españolas han colaborado en proyectos europeos

que han utilizado la metodología de los escenarios típicos para introducir medidas de mejora en la seguridad vial a nivel europeo (Molinero Martinez, et al., 2008, p. 6), sin que ello haya servido para que se extienda su uso y aplicación en España. También se han llevado a cabo estudios en profundidad de atropellos en el ámbito urbano, tanto en Madrid (Aparicio, et al., 2005, p. 3), como en Barcelona y Zaragoza (Olona, 2008, p. 50), pero las bases de datos diseñadas para estos estudios no se han planteado unos determinados escenarios típicos, más allá de la diferencia entre el ámbito urbano e interurbano. Tampoco han aplicado el concepto de escenario típico de atropello en su metodología de recogida de datos, ni en el diseño de la estructura de la base de datos, ni en su posterior explotación para otros estudios o para el apoyo a la adopción de determinadas medidas preventivas. Puede decirse que se han dado brillantes pasos hacia el futuro mejor, pero que la obra permanece inconclusa.

En España se dispone de la mayor parte de los datos básicos sobre los casos de atropellos a peatones, tanto en el ámbito urbano como en el interurbano, que permitirían aplicar la metodología de los escenarios típicos, tanto en la fase de investigación como en la fase de análisis y explotación de los datos obtenidos.

El primer paso para llegar a este ambicioso objetivo a medio plazo es adoptar una clasificación tipológica de los atropellos a peatones que permita un desarrollo posterior de una estrategia de almacenamiento y explotación de la base de datos que llegue a diseñarse. Con posterioridad las técnicas estadísticas señalarán los principales escenarios tipo de atropellos a peatones que se observan en España, tanto en el ámbito urbano como en el interurbano. Los estudios en profundidad de un número suficiente de casos de estos escenarios tipo más habituales deberían aportar información suficiente sobre el proceso que conduce a su acaecimiento y las causas, tanto próximas como remotas, que los motivan. Está es una metodología posible, con los medios disponibles actualmente, y su coste no debería ser elevado en términos absolutos.

En base a lo expuesto en esta tesis, y a la experiencia adquirida en la investigación de casos reales, en España se podría utilizar, en principio, como base de la aplicación de la metodología de escenarios de atropellos de peatones, los siguientes:

- Vehículo atropella a peatón que cruza en intersección urbana (SSP001).
- Vehículo atropella a peatón que cruza una vía urbana fuera de una intersección (SSP002).
- Vehículo que atropella a peatón que permanece dentro de la calzada en vía urbana (SSP003).
- Vehículo que atropella a peatón fuera de la calzada, en una isla o refugio o en la acera en vía urbana (SSP004).
- Vehículo que atropella a peatón que cruza la calzada en una vía interurbana (SSP004).
- Vehículo que atropella a peatón que permanece en la calzada en una vía interurbana (SSP005).
- Vehículo que atropella a peatón que va andando o corriendo por una vía interurbana (SSP006).
- Vehículo que atropella a peatón en el arcén de una vía interurbana (SSP007).
- Vehículo que atropella a un peatón que se ha bajado de un vehículo averiado o está auxiliando a un vehículo averiado (SSP008).

Si se llegará a desarrollar esta acción estratégica en la investigación de este tipo de siniestros viales las medidas que se podrían adoptar por los poderes públicos serían específicas en el ámbito y en el colectivo de personas afectas, lo cual redundaría en su mayor eficacia y eficiencia y en una mejor relación coste-beneficio.



## Bibliografía

- ACEM, 2003. *MAIDS In-Depth investigation of motorcycle accidents, Report on the Project Methodology and Process*, Brussels: Association des Constructeurs Européens de Motocycles (ACEM).
- ACEM, 2004. *MAIDS In-depth investigations of accidents involving powered two wheelers, Final Report 1.2*, Brussels: Association of European Motorcycle Manufacturers (ACEM).
- Ackoff, R. L., 1997. Systems, Messes and Interactive Planning.. En: E. E. F. Trist & H. Murray, edits. *The Social Engagement of Social Science: A Tavistock Anthology: The Socio-Ecological Perspective*. Philadelphia: University of Pennsylvania Press, pp. 417-438.
- Adams, J. G., 1987. Smeed's law: some further thoughts. *Traffic engineering and control*, 28(2), pp. 70-73.
- Aldman, B., Thorngren, L., Bunketorp, O. & Romanus, B., 1980. *An experimental model for the study of lower leg and knee injuries in car pedestrian and impacts..* Birmingham, Proceedings of the International IRCOBI Conference on the Biomechanics of Impact.
- American National Standards Institute, ANSI, 2007. *Manual on Classification of Motor Vehicle Traffic Accidents, ANSI D16.1-2007*,. 7 ed. Itasca: National Safety Council.
- Anderson, G. y otros, 1994. Qualifications of the Recontructionist: Differing Points of View, SAE Technical Paper 941053, 1994,. *Society of Atomotive Engineers (SAE)*.
- Anderson, R. W. G., McLean, A. J., Ponte, G. & Streeter, L., 2007. *Pedestrian reconstruction using multibody MADYMO simulation and the POLAR-II dummy: A comparison of head kinematics*. Lyon, Proceedings of the 20th International Technical Conference on the Enhanced Vehicle Safety (ESV).
- Andersson, R., 1998. Modelos de secuencia de accidentes. En: *Enciclopedia de Salud y seguridad en el trabajo*. Madrid: Organización Internacional del Trabajo, Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales, pp. 56.18-56.22.
- Aparicio Izquierdo, F., 2005. *Estudio accidentalológico, biomecánico y dinámico de atropellos a peatones (ABIDA)*, Madrid: INSIA, Centro Superior de Investigación del Automóvil de la Comunidad de Madrid.
- Aparicio Izquierdo, F. y otros, 2002. *Accidentes de tráfico: investigación, reconstrucción y costes*. Madrid: Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales, Universidad Politécnica de Madrid.
- Aparicio, F., 2009. *Informe de actualización del modelo DRAG*, Madrid: Dirección General de Tráfico, INSIA.
- Aparicio, F. & Arenas, B., 2008. *Influencia del parque y la evolución tecnológica de los vehículos en la seguridad vial*. [En línea] Available at: <http://www.madrimasd.org/informacionIdi/analisis/opinion/opinion.asp?id=36720> [Último acceso: 01 04 2015].
- Aparicio, F., Arenas, B., Bernardos, E. & Gómez, A., 2009. El modelo DRAG-España (I-DE 1): Análisis de los principales factores de influencia en el número de accidentes en las carreteras Españolas. *Securitas Vialis*, 1(2), pp. 59-64.
- Aparicio, F. y otros, 2005. *Estudio Accidentalológico, Biomecánico y Dinámico del Atropello de Peatones. Informe final Proyecto ABIDA*, Madrid: Ministerio de Educación y Ciencia, Plan Nacional de I+D. DPI2001-2818, .
- Aparicio, F. y otros, 2008. *Análisis de la seguridad vial española: un modelo integrado para la evaluación de los principales factores de influencia*, Madrid: Universidad politecnica.
- Aparicio, F. & Vera, J., 1997. *Curso de Reconstrucción de accidentes de tráfico utilizando el programa SINRAT*, Madrid: INSIA.
- Appel, H., Sturtz, G. & Gotzen, L., 1975. *Influence of impact speed and vehicle parameters on injuries of children and adults in pedestrian accidents..* Birmingham, Proceedings 2th International IRCOBI Conference.
- Arbous, A. & Kerrich, J., 1951. Accident statistics and the concept of accident-proneness. *Biometrics*, Issue 7, pp. 340-342.
- Aronberg, R., 1990. *Airborne Trajectory Analysis Derivation for Use in Accident Reconstruction*, SAE paper n° 900367, Warrendale: Society of Automotive Engineers (SAE).



- Aronberg, R. & Snider, A., 1994. Reconstruction of Automobile/Pedestrian Accidents Using CATAPULT, SAE Technical Paper 940924. En: *Accident Reconstruction: Technology and Animation IV*. Warrendale: Society of Automotive Engineers (SAE), pp. 445-451.
- Arregui Dalmases, C. & Luzón Navarro, J., 2007. Protección del peatón. En: C. Arregui Dalmases, J. Luzón Navarro & M. Seguí-Gómez, eds. *Fundamentos de Biomecánica en las lesiones por accidente de tráfico*. Madrid: Dirección General de Tráfico, pp. 227-255.
- Ashton, J., Mackay, G., Galer, M. & Thomas, P., 1985. The methodology of In-Depth studies of car crashes in Britain. *Society of Automotive Engineers (SAE)*, Issue SAE paper 850556, pp. 365-390.
- Aso Escario, J., 2011. Biomecánica de los TCE y traumatismos de raquis. En: A. Delgado Bueno, D. Delgado Bueno & N. Pérez Mallada, eds. *Biomecánica en la valoración médico legal de las lesiones*. Madrid: ADEMÁS Comunicación, pp. 83-117.
- Badea, A., Furones, A., Páez, F. J. & González, C., 2010. Multivariate modeling of pedestrian fatality risk through on the spot accident investigation. *International Journal of Automotive Technology*, 11(5), pp. 711-720.
- Baker, S. & Fricke, L., 1986. *The Traffic-Accident Investigation Manual. At scene investigation and technical follow-up*. 9ª ed. Evanston: Northwestern University Traffic Institute.
- Barceló, J., 1996. *Simulación de sistemas discretos*. Madrid: Isdefe.
- Barrios, J., 2005. *El accidente de tráfico, definición de medidas para la mejora de la seguridad vial*. Zaragoza, II Jornadas sobre Búsqueda de Soluciones al Problema de los Accidentes de Tráfico.
- Barrios, J. y otros, 2009. *Evaluation of the effectiveness of pedestrian protection systems through in-depth accident investigation, reconstruction and simulation, Paper Number 09-0376*. Stuttgart, Enhanced Safety of Vehicles (ESV).
- Batista, M., 2008. A Simple Throw Model for Frontal Vehicle-Pedestrian Collisions. *Promet-Traffic&Transportation*, 20(6), pp. 357-368.
- Beck, U., 1998. *La sociedad del riesgo*. Barcelona: Paidós.
- Benner, L., 1975a. Accident investigation: multilinear events sequencing methods. *Journal of Safety Research*, 7(2), pp. 67-73.
- Benner, L., 1975b. *Accident theory and accident investigation*. Ottawa, Proceedings of Society of Air Safety Investigators.
- Benner, L., 1975b. *Accident Theory and Accident Investigation*. Ottawa, Proceedings of Society of Air Safety Investigators Annual Seminar.
- Benner, L., 1978. *Accident theories and their implications for research*. Ann Arbor, Joint International Meeting of the American Association for Automotive Medicine and the International Association for Accident and Traffic Medicine.
- Benner, L., 1980. *Accident investigations: a case for new perceptions and methodologies*, num. 800387, Warrendale: Society of Automotive Engineers (SAE).
- Benner, L., 1980. *Accident Investigations—A Case for New Perceptions And Methodologies*, SAE technical paper num. 800387, Warrendale: Society of Automotive Engineers.
- Benner, L., 1980. Five Accident Perceptions: Their implications for accident investigators. *Hazard Prevention*, 16(11).
- Benner, L. & Hendrick, K., 1987. *Investigating Accidents with STEP*, New York: Marcel Dekker.
- Blumenthal, M., 1967. *Dimensions of the Traffic Safety Problem*, SAE Technical Paper 670011, Warrendale: Society of Automotive Engineers.
- Bohan, T., 1995. Computer-generated Images. En: Editores BOHAN, THOMAS y DAMASK, ARTHUR. En: T. Bohan & A. Damask, eds. *Forensic Accident Investigation: motor vehicles*. Charlottesville: Michie Butterworth.
- Borrel Vives, J., Algaba García, P. & Martínez-Raposo Piedrafita, J., 1991. *La Investigación de accidentes de tráfico*. Madrid: Ministerio del Interior, Dirección General de Tráfico.
- Borrell Vives, J., 1993. *Analítica de la investigación de accidentes de tráfico*, Zaragoza: Conferencia pronunciada en el Ilustre Colegio de Abogados de Zaragoza.
- Brace, C., 2005. *Fatal Data Methodology Development Report, Deliverable 5.1*, Brussels: Project SafetyNet.
- Brandstaetter, C., 2012. *Annual Statistical Report, Deliverable D3.9*, Brussels: Project DaCoTA.

- Bratten, T. A., 1989. *Development of a Tumble Number for Use in Accident Reconstruction*, Warrendale: Society of Automotive Engineers (SAE).
- Brenac, T., 1997. *L'analyse séquentielle de l'accident de la route (méthode INRETS), comment la mettre en pratique dans les diagnostics de sécurité routière, Methodological report num. 3*, Arcueil Cedex: Institut National de Recherche sur les Transports et leur Sécurité (INRETS).
- Brenac, T. & Fleury, D., 1999. Le concept de scénario type d'accident de la circulation et ses applications. *Recherche Transports Sécurité*, Issue 63, pp. 63-76.
- Brenac, T. & Fleury, D., 2001. Accident prototypical scenarios, a tool for road safety research and diagnosis studies. *Accident Analysis & Prevention*, Volume 33, pp. 267-276.
- Brenac, T., Reigner, H. & Nachtergaëte, H., 2003. *Scénarios types d'accidents impliquant des piétons et éléments pour leur prévention*, Paris: INRETS, 256.
- Bunge, M., 2003. *La ciencia, su método y filosofía*. Bogotá: Norma.
- Burnham, J., 2009. *Accident Prone: A History of Technology, Psychology, and Misfits of the Machine Age*. Chicago: University of Chicago Press.
- Cacciabue, P. C., 2004. *Guide to Applying Human Factors Methods, Human Error and Accident Management in Safety-Critical Systems*. London: Springer-Verlag.
- Campón Domínguez, J., 2011. El análisis secuencial del siniestro vial: el método INRETS. *Cuadernos de la Guardia Civil, Revista de Seguridad Pública*, 2ª Época(43), pp. 95-108.
- Campón Domínguez, J. y otros, 2009. *El Atestado . Seguridad Vial*. Pamplona: Aranzadi.
- CARE , 2015. CARE Base de datos. [En línea] Available at: <http://www.careproject.eu/database/index.php?> [Último acceso: 01 08 2015].
- Carter, E., 2006. *Analysis of the In-depth database of real-world pedestrian and cyclist accident cases, Deliverable D3.1.3, AP-SP31-006R*, Brussels: APROSYS project.
- Carter, E., 2006. *Aprosys in-depth database of VRU accident cases (WP 3.1)*, Brussels: Aprosys project.
- Carter, E. & Neal-Sturgess, C., 2008. APROSYS in-depth database of serious pedestrian and cyclist impacts with vehicles. *International Journal of Crashworthiness* , 13(6), pp. 629-642.
- CASR, 2012. *The University of Adelaide, Centre for Automotive Safety Research, Crash Investigation*. [En línea] Available at: <http://casr.adelaide.edu.au/research/crashinvestigation/> [Último acceso: 29 4 2015].
- CEESAR, 2007. *A Scientific Study "ETAC" European Truck Accident Causation*, Geneva: International Road Transport Union (IRU), European Commission (EC).
- Celko, J., 1999. *Joe Celko's Data and Databases: Concepts in Practice*. San Francisco: Morgan Kaufmann Publishers.
- CEPOL, 2015. *European Police Science and Research Bulletin*. [En línea] Available at: <https://www.cepol.europa.eu/sites/default/files/science-research-bulletin-11.pdf> [Último acceso: 09 03 2015].
- Chalmers University of Technology, 2013. *DaCoTA on-line manual for in-depth road accident investigators*. [En línea] Available at: <http://dacota-investigation-manual-eu.ita.chalmers.se/pmwiki.php> [Último acceso: 05 05 2015].
- Chawla, A., 2000. Safer truck front design for pedestrian impacts. *Journal of Crash Prevention and Injury Control*, Issue 2, pp. 33-43.
- Chenisbest, B., Jähn, N. & Le Coz, J., 1998. *European Accident Causation Survey (EACS) Methodology, paper 98-S2-O-08*. Windsor, Proceedings of 16th International Technical Conference on the Enhanced Safety of Vehicles (ESV), pp. 414-421.
- Chidester, A. & Isenberg, R., 2001. *Final Report-the pedestrian crash data study., Paper 248*. Amsterdam, Proceedings of the 17th International Conference on Enhanced Safety Vehicle (ESV).
- CIDAUT, 2002. *Accidentología de tráfico, 1ª Fase, Informe Final*, Valladolid: Centro de Investigación y Desarrollo de la Automoción (CIDAUT), Fundación Instituto Tecnológico para la Seguridad del Automóvil (FITSA).

- City of Toronto, 2007. *Pedestrian Collision Study*. [En línea] Available at: [http://www.toronto.ca/transportation/walking/pdf/ped\\_collision\\_study-full\\_report.pdf](http://www.toronto.ca/transportation/walking/pdf/ped_collision_study-full_report.pdf) [Último acceso: 01 09 2014].
- Collins, J. & Morris, J., 1979. *Accident Reconstruction*. Springfield: Charles C. Thomas Publisher.
- Comisión Europea, 2010. *Hacia un espacio europeo de seguridad vial: orientaciones políticas sobre seguridad vial 2011-2020, Comunicación de la Comisión al Parlamento Europeo, al Consejo, al Comité Económico y Social Europeo y al Comité de la Regiones*, Brussels: Comisión Europea.
- Cresswell, W. L. & Froggatt, P., 1962. Accident proneness, or variable accident tendency?. *Journal of the Statistical and Social Inquiry Society of Ireland*, Volumen 20, pp. 152-171.
- Crispino, F., 2006. *Le principe de Locard est-il scientifique? Ou analyse de la scientificité des principes fondamentaux de la criminalistique, Thèse de doctorat*. Lausanne: Institut de Police Scientifique de l'Ecole des Sciences Criminelles, Université de Lausanne.
- Cuerden, R., Pittman, M., Dodson, E. & Hill, J., 2008. *The UK on the spot accident data collection study – phase II report*, London: Department for Transport.
- DaCoTA, 2012a. *Traffic Safety Basic Facts*, Brussels: European Road Safety Observatory. DaCoTA project.
- Davis, G. & Swenson, T., 2003. Causal Determination in Road Accidents: An Application of the Halpern/Pearl Notion of 'Actual Cause'. En: K. J. Hayhurst & M. Holloway, edits. *Second Workshop on the Investigation and Reporting of Incidents and Accidents IRIA 2003*. Hampton: Proceedings of the Second Workshop on Investigation and , pp. 199-207.
- Day, T., 1994. *The scientific visualization of motor vehicle accidents*, SAE Paper num 940922. Warrendale, Society of Automotive Engineers (SAE).
- Day, T. & Hargens, R., 1989. *Application and misapplication of computer programs for accident reconstruction*, SAE Paper num 890738. Warrendale, Society of Automotive Engineers (SAE).
- del Pozo de Dios, E. y otros, 2013. *Towards a Global and Harmonized Database for In-Depth Accident Investigation in Europe: The Dacota Project*. Seoul, 23rd International Technical Conference on the Enhanced Safety of Vehicles (ESV).
- Delaney, A., Newstead, S. & Cameron, M., 2006. *Analysis of Pedestrian Crash Data from Great Britain, Germany and France*, Paris: Comité Européen des Assurances (CEA), SARAC II Project, Report of Sub-Task 3.4.
- Depriester, J. P., Perrin, C., Serre, T. & Chalandon, S., 2005. *Comparison of several methods for real pedestrian accident reconstruction*. Washington, Proceedings of the 19th International Technical Conference on the Enhanced Safety of Vehicles (ESV).
- DGT, 1996. *Estudio en profundidad sobre atropellos a peatones en la Comunidad de Madrid, Informe num. 99-IA-4*, Madrid: Ministerio del Interior, Dirección General de Tráfico.
- DGT, 2005. *Plan Estratégico de Seguridad Vial 2005-2008*. Madrid: Dirección General de Tráfico.
- DGT, 2010. *Accidentes de tráfico en zona urbana en España 2009*, Madrid: Ministerio del Interior, Dirección General de Tráfico.
- DGT, 2011. *Estrategia de Seguridad Vial 2011-2020*. Madrid: Dirección General de Tráfico.
- DGT, 2013. *Anuario estadístico de accidentes 2012*, Madrid: Ministerio del Interior, Dirección General de Tráfico (DGT).
- DGT, 2014. *Anuario Estadístico de Accidentes 2013*, Madrid: Ministerio del Interior, Dirección General de Tráfico (DGT).
- Diez Rabanal, J. y otros, 2011. *Definición de la estructura de una base de datos de accidentes de tráfico en el marco del proyecto Europeo DACOTA*, Madrid: Dirección General de Tráfico.
- Dirección General de Tráfico, 2013. *Manual de Contenidos de la aplicación ARENA 2*, Madrid: Ministerio del Interior, Dirección General de Tráfico.
- DSD, 2014. *PC-Crash*. [En línea] Available at: [http://www.dsd.at/index.php?option=com\\_content&view=article&id=76:pc-crash&catid=37&Itemid=207&lang=en](http://www.dsd.at/index.php?option=com_content&view=article&id=76:pc-crash&catid=37&Itemid=207&lang=en) [Último acceso: 25 07 2015].
- Dupont, E. y otros, 2007. *Multilevel modelling and time series analysis in traffic research – Methodology, Deliverable D7.4*, Brussels: Project SafetyNet..
- Elmasri, R. & Navathe, S. B., 2014. *Fundamentals of database systems*. 6 ed. Boston: Pearson.

- Elvik, R., 2005. *Laws of accident causation*. Helsinki, 18th ICTCT workshop .
- ENFSI, 2014. *European Network of Forensic Science Institutes, Road Accident Analysis*. [En línea] Available at: <http://www.enfsi.eu/about-enfsi/structure/working-groups/road-accident-analysis> [Último acceso: 09 03 2015].
- Espejo, R., 1989. A Cybernetic Method to Study Organisations. En: R. Espejo & R. Harnden, edits. *The viable system model: inpretations and applications of Stafford-Beer's VSM*. Chichester : John Wiley & Sons, pp. 361-382.
- Espejo, R. & Harnden, R., 1989. *The Viable System Model: Interpretations and Applications of Stafford Beer's VSM*. Chichester: J. Wiley & Sons.
- ETSC, 2001. *Transport accident and incident investigation in the European Union*, Brussels: European Transport Safety Council.
- Eubanks, J. & Haight, R., 1992a. Pedestrian involved traffic collision reconstruction methodology. *Society of Automotive Engineers (SAE)*, 921591, pp. 1-29.
- Eubanks, J. & Hill, P. J., 1992b. *Pedestrian accident reconstruction and litigation*. Tucson: Lawyers & Judges Publishing.
- EuroNCAP, 2014a. *Pedestrian Testing Protocol, Version 8.0*, Brussels: European New Car Assessment Programme (EuroNCAP) .
- EuroNCAP, 2014. *Assessment Protocol, Pedestrian Protection, Version 8.0*, Brussels: European New Car Assessment Programme (EuroNCAP).
- European Union Comision, 2014. *CARE (European Road Accident Database)*. [En línea] Available at: [http://ec.europa.eu/transport/road\\_safety/specialist/statistics/index\\_en.htm](http://ec.europa.eu/transport/road_safety/specialist/statistics/index_en.htm) [Último acceso: 28 12 2014].
- Fagerlind, H. y otros, 2008. *Development of an In-depth European Accident Causation Database and the Driving Reliability and Error Analysis Method, DREAM 3.0.*. Hannover, Proceedings of Expert Symposium on Accident Research (ESAR) 3rd International Conference.
- Fahlstedt, M., 2015. *Numerical Accident Reconstructions, A Biomechanical Tool to Understand and Prevent Head Injuries, Doctoral Thesis*, Huddinge: KTH Royal Institute of Technology.
- Fallon, I. & O'Neill, D., 2005. The world's first automobile fatality. *Accident Analysis and Prevention*, Issue 37, p. 601–603.
- Farmer, E. & Chambers, E. G., 1926. A Psychological Study of Individual differences in accident rates. *Industrial Fatigue Research Board Report, Medical Research Council*, Issue 38, pp. IV-46.
- Fernández Muñoz, J., 2007. Reproducción de un atropello real mediante modelos matemáticos. *Revista Informativa del Colegio Oficial de Ingenieros Industriales de Madrid (COIIM)*, 7(30), pp. 50-53.
- Ferrater Mora, J., Terricabras, J. & Ferrater Mora, P., 1994. *Diccionario de Filosofía*. Barcelona: Circulo de Lectores.
- Ferry, T. S., 1988. *Modern Accident Investigation and Analysis*. 2ª ed. New York: John Wiley & Sons.
- Field, J., 2003. Pedestrian/vehicle collisions: Collision investigation in the 21st Century, getting it right. *Home Office Police Research Award Echeme*, pp. 1-57.
- Fischhoff, B. y otros, 1978. How safe is safe enough? A psychometric study of attitudes towards technological risks and benefits. *Policy Sciences* , 9(2), pp. 127-152.
- Fisher, B. A. J., 2004. *Techniques of crime scene investigation*. 7 ed. Boca Raton: CRC Press.
- Fontaine, H., 2000. *A typological analysis of pedestrian accidents*. Paris, ICTCT, p. 10.
- Forman, P. & Hill, J., 2001. The New UK “On The Spot” Crash Investigation Project. En: P. Gregory & K. Naylor, edits. *Proceedings of the 5th International Conference*. York: The Institute of Traffic Accident Investigators (ITAI), pp. 17-29.
- Fredriksson, R., Flink, E., Boström, O. & Backman, K., 2007. *Injury mitigation in SUV-to-pedestrian impacts, Paper Number 07-0380*. Lyon, 20 th international technical conference on the Enhanced Safety of Vehicles (ESV).
- Fricke, L. B. & Baker, S., 1990. *Traffic Accident Reconstruction*. Evanston: Northwestern University Traffic Institute.
- Frogatt, P. & Smiley, J., 1964. The concept of accident proneness: a review. *Brittish Journal of Industrial Medicine*, 21(1), pp. 1-12.

- Fugger, J. T., Randles, B. & Eubanks, J., 2000. Comparison of Pedestrian Accident Reconstruction Models to Experiment Test Data for Wrap Trajectories, C567/031/2000. *ImechE Conference Transactions 2000-2*, Volumen 2.
- Fugger, T. J., Randles, B., Wobrock, J. & Eubanks, J., 2002. Pedestrian Throw Kinematics in Forward Projection Collisions, SAE technical paper n° 2002-01-0019. En: *Impact Biomechanics*. Warrendale: Society of Automotive Engineers (SAE), pp. 1-8.
- Fuller, R., 1984. A conceptualization of driving behaviour as threat avoidance. *Ergonomics*, 27(11), pp. 1139-1155.
- Gadd, C., 1966. *Use of a Weighted-Impulse Criterion for estimating Injury Hazard*, SAE Paper 660793. Warrendale, Proceedings of Tenth Stapp Car Crash Conferences, Society of Automotive Engineers (SAE).
- Gálvez Román, R., 2011. *Simulación de un atropello mediante LS-DYNA*, Leganes: Universidad Carlos II de Madrid, Escuela Politécnica Superior, Departamento de Ingeniería Mecánica.
- Garber, N. J. & Wu, L., 2001. *Stochastic models relating crash probabilities with geometric and corresponding traffic characteristics data (No. UVACTS-5-15-74)*. Charlottesville: Center for Transportation Studies, University of Virginia.
- Gardner, R. M., 2005. *Practical crime scene processing and investigation*. Boca Raton: CRC Press.
- Gardner, R. M. & Bevel, T., 2009. *Practical Crime Scene Analysis and Reconstruction*. Boca Raton: CRC Press.
- Gaudry, M., 1984. *DRAG, un modèle de la Demande Routière, des Accidents et de leur Gravité, appliqué au Québec de 1956 à 1982*, CRT-359. Montreal: Centre de Recherche sur les Transports (CRT), Université de Montréal.
- Gaudry, M. & Lapparent, M. d., 2010. *Un état de l'art de la modélisation structurelle des bilans nationaux de l'insécurité routière, Synthèses S62*. Paris: INRETS.
- Gaudry, M. & Lassarre, S., 2000. *Structural Road Accident Models*. Oxford: Pergamon.
- Gisbert Calabuig, J. & Villanueva Cañadas, E., 2004. *Medicina Legal y Toxicología*. 6 ed. Barcelona: Masson.
- Gordon, J., 1949. The Epidemiology of Accidents. *American Journal of Public Health*, Issue 39, pp. 504-515.
- Greenwood, M., 1941. Discussion on Chambers and Yule's paper. *Journal Royal Statistic Society*, 7(107).
- Greenwood, M. & Wood, H., 1919. A report on the incidence of industrial accidents upon individuals with special reference to multiple accidents. *British Industrial Fatigue Research Board*, Issue 4.
- Greenwood, M. & Yule, G., 1920. An enquiry into the nature of frequency distributions representative of multiple happenings, with particular reference to the occurrence of multiple attacks of disease or repeated accidents. *Journal Royal Statistic Society*, Issue 83, pp. 1-255.
- Greuter, A. y otros, 2004. *Road Death Investigation Manual*. Bramshill: National Crime & Operations, Centrex.
- Grimes, W., 1994. *Classifying the elements in a scientific animation*, SAE paper num 940919. Warrendale, Society of Automotive Engineers (SAE).
- Guerra Casanova, L. J., 2011. *Analysis of The Key Parameters in Pedestrian Safety Assessment for the European Vehicle Fleet Using Multibody and Finite Element Mathematical Models*, Tesis Doctoral, Madrid: Universidad Politécnica de Madrid, E.T.S.I. Industriales.
- Guerra, L., 2006. *Spanish epidemiology on pedestrian and cyclist*, Brussels : APROSYS project.
- Haddon, W. J., 1968. The changing approach to the epidemiology, prevention, and amelioration of trauma: the transition to approaches etiologically rather than descriptively based. *American Journal of Public Health*, 58(8), pp. 1431-1438.
- Haddon, W. J., 1973. Energy damage and the 10 countermeasure strategies. *Journal of Trauma*, Issue 13, pp. 321-331.
- Haddon, W. J., 1980. Advances in the epidemiology of injuries as a basis for public policy.. *Public health reports*, 95(5), pp. 411-421.
- Haddon, W. J., 1983. *Approaches to Prevention of Injuries*. Miami, American Medical Association Conference on Prevention of Disabling Injuries.
- Haddon, W., Suchman, E. & Klein, D., 1964. *Accident Research: Methods and approaches*. New York: Harper & Row.

- Hague, D., 2001. *Calculation of Impact Speed from Pedestrian Slide Distance*. York , ITAI International Conference 2001.
- Haight, F., Joksche, H., Q'Day, H. & Waller, P., 1976. *Review of methods for studying pre-crash factors* , Chapel Hill: University of North Carolina, Highway Safety Research Center.
- Hale, A., Wilpert, B. & Freitag, M., 1997. *After the Event: From Accident to Organisational Learning*. Oxford: Pergamon, Emerald Book Serials and Monographs.
- Han, I. & Brach, R. M., 2001. *Throw model for frontal pedestrian collisions*, SAE Technical Paper n° 2001-01-0898, Warrendale: Society of Automotive Engineers (SAE).
- Happer, A. y otros, 2000. Comprehensive Analysis Method for Vehicle/Pedestrian Collisions. En: *Accident Reconstruction: Analysis, Simulation, and Visualization*, SAE n° 2000-01-0846. Warrendale: Society of Automotive Engineers (SAE), pp. 1-28.
- Hardy, R. y otros, 2007. *Impact conditions for pedestrians and cyclists*, APROSYS SP3, Deliverable D3.2.3, AP-SP32-009R, Brussels: Aprosys Project.
- Harvey, M. D., 1985. *Models for accident investigation*, Edmonton: Workers' Health, Safety and Compensation, Occupational Health and Safety Division.
- Heinrich, H. y otros, 1980. *Industrial Accident Prevention: Safety management Approach*. 5ª ed. New York: McGraw-Hill.
- Heinrich, H. W., 1931. *Industrial accident prevention: a scientific approach*. New York: McGraw-Hill.
- Hermitte, T., 2012. *Review of Accident causation models used in Road Accident Research*, Deliverable D5.9, Brussels: project DaCoTA.
- Herrera, I. & Woltjer, R., 2009. Comparing a multi-linear (STEP) and systemic (FRAM) method for accident analysis. En: M. e. al, ed. *Safety, Reliability and Risk Analysis: Theory, Methods and Applications*. London: Taylor & Francis, pp. 19-26.
- Hicks, J., 2001 . Traffic Accident Reconstruction. En: K. L. Carper, ed. *Forensic engineering*. Boca Raton: CRC Press, pp. 148-177.
- Hill, J., Aldah, M. T. R. G. G., Fagerlind, H. & Jansch, M., 2012a. *Final Report*, Deliverable 2.5, Brussels: Project DaCoTA.
- Hill, J., Aldah, M. T. R., Martinsson, J. & Fagerlind, H., 2012. *Final Updated Protocol with Updates from the Pilot Review*, Deliverable 2.4 , Brussels: Project DaCoTA.
- Hill, J. & Cuerden, R., 2005. *Development and Implementation of the UK On the Spot Accident Data Collection Study*, Road Safety Research Report No. 59, London: Departament of Transport.
- Hollnagel, E., 1991. The phenotype of erroneous actions: Implications for HCI design. En: G. W. R. Weir & J. L. Alty, edits. *Human-computer interaction and complex systems*. New York: Academic Press.
- Hollnagel, E., 1999. *Accident analysis and Barrier Functions*, IFE/HR/F-99/1121, Halden: Institutt for Energiteknikk.
- Hollnagel, E., 2002. *Understanding accidents: from root causes to performance variability*. Scottsdale, 7th IEEE Human Factors Meeting.
- Hollnagel, E., 2004. *Barriers and accident prevention*.. Aldershot: Ashgate.
- Hollnagel, E. & Goteman, O., 2004. The functional resonance accident model. *Proceedings of cognitive system engineering in process plant*, pp. 155-161.
- Hollnagel, E. & Woods, D. D., 2005. *Joint Cognitive Systems: Foundations of Cognitive Systems Engineering*. Boca Raton: CRC Press.
- Horswell, J., 2004. *The Practice of Crime Scene Investigation*. Boca Raton: CRC Press.
- HOY , 2010. *Los semáforos de la rotonda del Hotel Velada entran en funcionamiento*. [En línea] Available at: <http://www.hoy.es/v/20100717/merida/semaforos-rotonda-hotel-velada-20100717.html> [Último acceso: 25 07 2015].
- Hoyes, T. W., Stanton, N. A. & Taylor, R. G., 1996. Risk homeostasis theory: A study of intrinsic compensation. *Safety science*, 22(1), pp. 77-86.
- Huang, Y.-h., 2007. *Having a New Pair of Glasses: Applying Systemic Accident Models on Road Safety*., Linköping: Department of Computer and Information Science, Linköping Universitet.
- Hueske, E. E., 2006. *Practical analysis and reconstruction of shooting incidents*. Boca Raton: CRC Press.
- Hunter, W., Stutts, J. & W.E., P., 1997. *Pedestrian Crash Types: A 1990's Informational Guide*, Federal Highway Administration, FHWA-RD-96-16.. [En línea]



- Available at: <http://isddc.dot.gov/OLPFiles/FHWA/007863.pdf>  
[Último acceso: 01 09 2014].
- Hydén, C., 1990. *Modelling accident data and looking for alternatives of due reason—a story about a drive project..* Cracow, Proceedings of International Co-operation on Theories and Concepts in Traffic Safety (ICTCT).
- IHRA, 2003. *IHRA/PS-WG Pedestrian Traffic Accident Data, Report INF GR/PS/31*, Geneva: UNECE, IHRA.
- INE, 2001. *Instituto Nacional de Estadística (INE), Panel de Hogares de la Unión Europea, Datos europeos.* [En línea]  
Available at: <http://www.ine.es/jaxi/tabla.do?path=/t25/p442/e01/l0/&file=02005.px&type=pcaxis>  
[Último acceso: 01 09 2015].
- Inman, K. & Rudin, N., 2000. *Principles and practice of criminalistics: the profession of forensic science..* Boca Raton: CRC Press.
- IRTAD, 2015. *OCDE, International Transport Forum.* [En línea]  
Available at: <http://www.internationaltransportforum.org/irtadpublic/datasets.html>  
[Último acceso: 01 08 2015].
- IRTAD, 2013. *Road Safety Annual Report 2013*, Paris: OECD.
- Jacobs, G., Aeron-Thomas, A. & Astrop, A., 2000. *Estimating global road fatalities, Report 445*, Crowthorne: Transport Research Laboratory (TRL).
- Johnson, W., 1973. *The Management Oversight and Risk Tree (MORT), SAN 821-2*, , Washington: U.S. Atomic Energy Commission, Division of Operational Safety.
- Jørgensen, K., 1998. Conceptos del análisis de accidentes. En: *Enciclopedia de Salud y seguridad en el trabajo*. Geneva: Organización Internacional del Trabajo, Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales, pp. 56.3-56.6.
- Kalliske, I. & Friesen, F., 2001. *Improvements to pedestrian protection as exemplified on a standard-sized car..* Amsterdam, Proceedings of the 17th international technical conference on the Enhanced Safety of Vehicles (ESV).
- Katsakiori, P., Sakellaropoulos, G. & Manatakis, E., 2008. Towards an evaluation of accident investigation methods in terms of their alignment with accident causation models, *Safety Science*, 47(7), pp. 1007-1015.
- Kirk, P., 1963. The Ontogeny of Criminalistics. *Journal of Criminal Law and Criminology & Police Sci.*, 54(2), pp. 235-238.
- Kjellen, U., 2000. *Prevention Of Accidents Through Experience Feedback*. Boca Raton: CRC Press.
- Kletz, T., 2001. *Learning from accidents*. 3 ed. Oxford: Gulf Professional Publishing.
- Knowles, J., Smith, L., Cuerden, R. & Delmonte, E., 2012. *Analysis of police collision files for pedestrian fatalities in London*, London: Transport Research Laboratory, PPR620.
- Kuiken, M. & Heijer, T., 1995. *Driver support systems and Traffic Safety, R-95-68*, Leidschendam: SWOV.
- Lasen Paz, M., 1995. La investigación de accidentes de tráfico. En: *La Seguridad Vial: Del factor humano a las nuevas tecnologías*. Valencia: Síntesis Psicológica, pp. 51-78.
- Lechner, D., Malaterre, G. & Fleury, D., 1986. *La reconstitution cinématique des accidents, Rapport núm 21*, , Arcueil Cedex: INRETS.
- Lees, F., 1996b. *Loss Prevention in the Process Industries, Hazard Identification, Assessment and Control, Volume 2*. 2 ed. Oxford: Butterworth-Heinemann.
- Lenard, J. y otros, 2006. *PENDANT: A European Crash Injury Database*. Hannover, 2nd Expert Symposium on Accident Research.
- Leveson, N., 2001. *Evaluating Accident Models using Recent Aerospace Accidents*, , Cambridge: Massachusetts Institute of Technology (MIT), Dept. of Aeronautics and Astronautics.
- Leveson, N., 2004. A New Accident Model for Engineering Safer Systems. *Safety Science*, 42(4), pp. 237-270.
- Leveson, N., Daouk, M., Dulac, N. & Marais, K., 2003. *Applying STAMP in Accident Analysis*,. Williamsburg, Workshop on the Investigation and Reporting of Incidents and Accidents.
- Liesa Mestres, F. & Gallegos Díez, D., 2008. *Proyecto BIA: Barcelona investigación de accidentes*, Barcelona: Universidad Politécnica de Cataluña, Cátedra Applus+ en Seguridad del Automóvil.
- Li, H. B. & Li, J. J., 2015. The Analysis of Cars and Pedestrians Collision Based on the PC-Crash Program and MADYMO Simulation. *Applied Mechanics and Materials*, Volumen 744-746, pp. 1949-1952.

- Limpert, R., 1994. *Motor Vehicle Accident Reconstruction and Cause Analysis*. 5 ed. Charlottesville: The Michie Company.
- Lind, M., 2012. *Modeling Safety Barriers and Defense in Depth with Multilevel Flow Modeling*. Okayama, Proceeding of First International Symposium on Socially and Technically Symbiotic Systems.
- Lin, Y., 2002. *General systems theory: a mathematical approach*, New York: Kluwer Academic.
- Lissner, H., Lebow, M. & Evans, F., 1960. Experimental Studies on the relation between acceleration and intracranial pressure changes in man", *. Surgery, gynecology, and obstetrics*, Volumen 3, pp. 329-338.
- Livermore Software, 2011. *LS-DYNA*. [En línea] Available at: <http://www.lstc.com/products/ls-dyna> [Último acceso: 25 07 2015].
- Ljung Aust, M. y otros, 2012. *Manual for DREAM version 3.2*, Göteborg: Chalmers University of Technology.
- Lopez-Muñiz Goñi, M., 1995. *Accidentes de Tráfico*. 2ª ed. Madrid: Colex.
- Lucchini, E. & Weissner, D., 1980. *Differences between pedestrian impact responses using mathematical the kinematics and loadings of impacted adults and children results from dummy test*. Birminham, Proceedings of the International IRCOBI Conference on the Biomechanics of Impact.
- Lundberg, J., Rollenhagen, C. & Hollnagel, E., 2009. What-You-Look-For-Is-What-You-Find, The consequences of underlying accident models in eight accident investigation manuals. *Safety Science*, 47(10), pp. 1297-1311.
- Mackay, M., 2013. *IRCOBI – Past, Present and Future*. Gothenburg , IRCOBI Conference Proceedings .
- Mak, K. & Viner, J., 1987. Overview on Use of In-Depth Accident Data. *Society of Automotive Engineers (SAE)*, Issue 870073, pp. 55-61.
- Mansfield, H., Bunting, A., Martens, M. & van der Horst, R., 2008. *Analysis of the On the Spot (OTS) Road Accident Database, Road Safety Research Report No. 80*, London: Department for Transport.
- Martinez, L., 1998. *The Traffic Accident Reconstruction Origin, Pedestrian Accident Reconstruction: Review and Update*. [En línea] Available at: <http://www.tarorigin.com/art/Lmartinez/Ped/> [Último acceso: 25 06 2015].
- Martínez, L., Guerra, L., Ferichola, G. & García, A., 2007. *Pedestrian accident reconstructions methodology using detailed vehicle models and age-dependent leg fracture limits on the pedestrian*. Maastricht, Proceedings of the International Conference of Biomechanics of Impact (IRCOBI).
- Martin, J. L., Lardy, A. & Laumon, B., 2011. Pedestrian injury patterns according to car and casualty characteristics in France. *Annals of Advances in Automotive Medicine/Annual Scientific Conference*, Volumen 55, p. 137.
- Meliá Navarro, J., Ricarte, J. & Arnedo, M., 1998. La Psicología de la Seguridad (I): una revisión de los modelos procesuales de inspiración mecanicista. *Revista de Psicología General y Aplicada*, 51(1), pp. 37-54.
- Meliá, J., Ricarte, J. & Arnedo, M., 1998b. La Psicología de la Seguridad (II): modelos explicativos de inspiración psicocociológica. *Revista de Psicología General y Aplicada*, 2(51), pp. 279-299.
- Mendoza Buergo, B., 2001. *El Derecho penal en la sociedad del riesgo*. Madrid: Cívitas.
- Mertz, H. J., Irwin, A. L. & Prasad, P., 2003. Biomechanical and Scaling Bases for Frontal and Side Impact Injury Assessment Reference Values. *Stapp Car Crash Journal* , Volumen 47, pp. 155-188.
- Michon, J. A., 1985. A critical view of driver behavior models: What do we know, What should we do?. En: L. Evans & R. Schwing, edits. *Human behavior and traffic safety*. New York: Plenum Press, pp. 485-520.
- Mills, A. J., Durepos, G. & Wiebe, E., 2010. *Encyclopedia of case study research*. Thousand Oaks: Sage.
- Mizuno, Y., 2005. *Summary of IHRA Pedestrian Safety WG Activities (2005)-Proposed Test Methods to Evaluate Pedestrian Protection Afforded by Passenger Cars..* Washington, Proceedings of 22º International Technical Conference on the Enhanced Safety of Vehicles (ESV).
- Molinero Martinez, A. et al., 2008. *Accident causation and pre-accidental driving situations, Part 1. Overview and general statistics*, Brussels: TRACE Project.
- Molinero, A. y otros, 2008. *Road users and accident causation, Part 2: In-depth accident causation analysis*, Brussels: TRACE project, Project No. FP6-2004-IST-4 027763.

- Molinero, A. y otros, 2009. *Road users and accident causation, Part 3: Summary report*, Brussels: TRACE project, Project No. FP6-2004-IST-4 027763.
- Monclús González, J., 2005. *El papel de las investigaciones en profundidad de los siniestros de circulación*. Zaragoza, II Jornadas sobre Búsqueda de Soluciones al Problema de los Accidentes de Tráfico, Universidad de Zaragoza, pp. 121-148.
- Monclús González, J., L.G. L. & Maier, R., 2006. *Road Accident Investigation in the European Union: Review and recommendations*, Brussels: ROSAT, ROad Strategy for Accidents in Transport Working Group.
- Mooi, H. & Galliano, F., 2001. *Dutch in-depth accident investigation: first experiences and analysis results for motorcycles and mopeds, paper num 236*. Amsterdam, Proceedings of 17th International Technical Conference on the Enhanced Safety of Vehicles (ESV).
- Morris, A., Smith, M., Chambers, D. & Thomas, P., 1999. *Integrated Protocols for Accident Research On The Scene (OTS)*, London: Department of the Environment Transport and the Regions.
- Mosedale, J., Purdy, A. & Clarkson, E., 2005. *Contributory factors to road accidents*, London: Transport Statistics: Road Safety, Department for Transport.
- Moser, A., Hoschopf, H., Steffan, H. & Kasanicky, G., 2000. *Validation of the PC-Crash pedestrian model, SAE Technical Paper 2000-01-0847*, Warrendale: Society of Automotive Engineers (SAE).
- Moser, A., Steffan, H. & Kasanický, G., 1999. *The pedestrian model in PC-crash-The introduction of a multi body system and its validation, SAE Technical Paper 1999-01-0445*, Warrendale: Society of Automotive Engineers (SAE).
- Nagel, E., 1968. *La estructura de la ciencia. Problemas de la lógica de la investigación científica*. Buenos Aires: Paidós.
- NCAC, 2015. *National Crash Analysis Center (NCAC), Finite Element Model Archive*. [En línea] Available at: <http://www.ncac.gwu.edu/vml/models.html> [Último acceso: 25 07 2015].
- Neal-Sturgess, C. y otros, 2007. *APROSYS European In Depth Pedestrian Database..* Lyon, Proc. 20th Conference on the Enhanced Safety of Vehicles (ESV).
- Newbold, E., 1926. A contribution to the study of the human factor in the causation of accidents. *Industrial Fatigue Res. Board Report*, Issue 34, pp. V-74.
- Nilsson, G., 2004. *Traffic safety dimensions and the power model to describe the effect of speed on safety (Doctoral dissertation)*. Lund: Lund University.
- Noon, R., 2009. *Scientific Method: Applications in Failure Investigation and Forensic Science*. Boca Raton: CRC Press.
- Nordby, J. J., 2013. *Scientific Foundations of Crime Scene Reconstruction: Introducing Method to Mayhem*. 3ª ed. Boca Raton: CRC Press.
- Norman, L. G., 1962. *Road traffic accidents*. Geneva: World Health Organization (WHO).
- O'Neill, B., 2002. Accidents: Highway Safety and William Haddon, Jr.,. *Contingencies*, Issue January-february, pp. 30-32.
- O'Day, J., Cooley, P. & Schultz, S., 1973. *Tri-Level Accident Investigation Study Volume 1, DOT-HS-800192*, Ann Arbor: University of Michigan, Highway Safety Research Institute.
- O'Day, J. & Waissi, G. R., 1986. *Worldwide Accident Data Standardization: Volume I*, Ann Arbor: University of Michigan, Transportation Research Institute.
- OECD, 1997. *Road safety principles and models: review of descriptive, predictive, risk an accident consequence models, OCDE/GD(97)153*, Paris: Organisation for Economic Co-operation and Development, .
- OECD, 1998. *Safety of Vulnerable Road Users*, Paris: OECD, Scientific Expert Group on the Safety of Vulnerable Road Users (RS7).
- OECD, 2000. *Road safety principles and models executive summary and policy*. [En línea] Available at: [www.oecd.org/dataoecd/17/39/2003782.pdf](http://www.oecd.org/dataoecd/17/39/2003782.pdf) [Último acceso: 29 12 2014].
- Olona, A., 2008 . Investigación en la protección de peatones a partir del estudio en profundidad de accidentes de tráfico. *Centro Zaragoza Revista Técnica*, julio-septiembre(37), pp. 50-53.
- Olona, A., 2008. Investigación en la protección de peatones a partir del estudio en profundidad de accidentes de tráfico. *Revista Técnica Centro Zaragoza*, Issue 37, pp. 50-53.

- Olson, P. L., 2002. Driver Perception-Response time. En: P. L. Olson & R. E. Dewar, edits. *Human Factors in Traffic Safety*. Tucson: Lawyers & Judges Publishing Company, pp. 43-75.
- Ootani, R. & Pal, C., 2007. *Effective Numerical Simulation Tool for Real-World Rollover Accidents by Combining PC-Crash and FEA*, SAE Technical Paper 2007-01-1773, Warrendale: Society of Automotive Engineers (SAE).
- Osterburg, J. & Ward, R., 2010. *Criminal Investigation: A Method for Reconstructing the Past*. 6 ed. New Providence: Anderson Publishing.
- Otte, D., 2013. *Road Safety: Reliable Data – Effective Policies*. Berlin, 15th European Transport Safety Lecture.
- Otte, D. & Nehmzow, J., 2006. *PENDANT Appendix 7 Pedestrian Impacts Analysis as part of Deliverable D11*, Brussels: Pendant Project.
- Otte, D., Yang, J. & Yao, J., 2003. *Correlation of different impact conditions to the injury severity of pedestrian in real world accidents*. Nagoya, Enhanced Safety Vehicles, p. 8.
- Paez Ayuso, F. J. & Furones Crespo, A., 2013. *Estudio piloto de análisis de causalidad de los accidentes de tráfico aplicando metodologías*, Madrid: Dirección General de Tráfico.
- Paez Ayuso, J., 2011. *Temario de oposiciones de la Dirección General de Tráfico, Tema 41 parte común*. [En línea] Available at: [http://www.dgt.es/Galerias/la-dgt/empleo-publico/oposiciones/doc/2013/TEMA\\_41\\_Parte\\_Comun\\_mov\\_segura26e.doc](http://www.dgt.es/Galerias/la-dgt/empleo-publico/oposiciones/doc/2013/TEMA_41_Parte_Comun_mov_segura26e.doc) [Último acceso: 24 05 2015].
- Page, Y. & Hermitte, T., 2007. *The TRACE Project: an initiative to update accident causation issues and evaluate the safety benefits of technologies*, Paper Number 07-0400. Lyon, Proceedings of 20th International Technical Conference on the Enhanced Safety of Vehicles Conference (ESV) .
- Page, Y. y otros, 2009. *Reconsidering accident causation analysis and evaluating the safety benefits of technologies: final results of the TRACE project*, Paper No. 09-0148. Stuttgart, Proceedings of the 21st (ESV) International Technical Conference on the Enhanced Safety of Vehicles.
- Panou, M., Bekiaris, E. & Papakostopoulos, V., 2007. Modelling driver behaviour in European Union end International project. En: C. Cacciabue, ed. *Modelling Driver Behaviour in Automotive Environments: Critical Issues in Driver Interactions with Intelligent Transport Systems*. London: Springer Science, pp. 3-25.
- Paulsson, R., 2005. *In-depth Accident Causation Data Study, Methodology Development Report, Deliverable 5.2*, Brussels: SafetyNet.
- Peden, M. y otros, 2010. *Data systems: a road safety manual for decision-makers and practitioners*. Geneva: World Health Organization.
- Peden, M. y otros, 2004. *World Report on Road Traffic Injury Prevention*, Geneva: World Health Organization (WHO).
- Perchonok, K., 1972. *Accident cause analysis, Final Report ZM-5010-V-3* , Washington: National Safety Council Safety.
- Prat Fabregat, S., 2007. Biomecánica de las lesiones pélvicas y de las extremidades. En: C. Arregui Dalmases, J. Luzón Navarro & M. Seguí-Gómez, edits. *Fundamentos de Biomecánica en las lesiones por accidente de tráfico*. Madrid: Dirección General de Tráfico, pp. 351-362.
- project, D., 2013. *DaCoTA on-line manual for in-depth road accident investigators*. [En línea] Available at: <http://dacota-investigation-manual-eu.ita.chalmers.se/pmwiki.php> [Último acceso: 01 08 2015].
- Ptak, M. & Karlinski, J., 2012. *Pedestrian Passive Safety During the SUV Impact: Regulations vs. Reality*. Dublin, International Research Council on the Biomechanics of Injury (IRCOBI) Conference.
- Quivy, R. & Van Campenhoudt, L., 2005. *Manual de investigación en Ciencias Sociales*. México: Limusa.
- Qureshi, Z., 2008. *A Review of Accident Modelling Approaches for Complex Critical Sociotechnical Systems, DSTO-TR-2094*, Edinburgh: Defence Science and Technology Organisation, Command, Control, Communications and Intelligence Division.
- RAE, 2015. *Real Academia Española*. [En línea] Available at: <http://lema.rae.es/drae/srv/search?key=criminal%C3%ADstica> [Último acceso: 23 04 2015].
- Ranney, T. A., 1994. Models of driving behavior: a review of their evolution. *Accident Analysis & Prevention*, 26(6), pp. 733-750.

- Raouf, A., 1998. Teoría de las causas de los accidentes. En: J. M. Stellman & M. McCan, eds. *Enciclopedia de Salud y Seguridad en el Trabajo*. Madrid: Organización Internacional del Trabajo, Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales.
- Rasmussen, J., 1983. Skills, rules, and knowledge; signals, signs, and symbols, and other distinctions in human performance models. *Systems, Man and Cybernetics, IEEE Transactions*, 13(3), pp. 257-266.
- Rasmussen, J. & Vicente, K. J., 1989. Coping with human errors through system design: implications for ecological interface design. *International Journal of Man-Machine Studies*, 31(5), pp. 517-534.
- Rau, H., Otte, D. & Schulz, B., 2000. Pkw-Fußgängerkollisionen im hohen Geschwindigkeitsbereich Ergebnisse von Dummyversuchen mit Kollisions-geschwindigkeiten zwischen 70 and 90 km/h. *Verkehrsunfall und Fahrzeugtechnik*, Volumen 12, pp. 341-350.
- Ravani, B., Brougham, D. & Mason, R. T., 1981. *Pedestrian post-impact kinematics and injury patterns*, Warrendale: Society of Automotive Engineers (SAE), num. 811024.
- Ravani, B., Schmidt, D. & Brougham, D., 1980. *Pedestrian Injury Causation Study (PICS)*, DOT-HS-7-01581, Washington: National Highway Traffic Safety Agency (NHTSA).
- Reason, J., 1990. *Human Error*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Reason, J., 2000. Human error: models and management. *British Medical Journal, BMJ*, 320(7237), pp. 768-770.
- Reason, J., 2013. *A life in error: from little slips to big disasters*. Farnham: Ashgate.
- Reason, J. H. E. P. J., 2006. Revisiting the «Swiss cheese» model of accidents. *Journal of Clinical Engineering*, Issue 27, pp. 110-115..
- Reed, S. & Morris, A., 2006. *Review of Fatal Accident Pilot Study. Fatal Data Methodology Development Report.*, Brussels: SafetyNet project.
- Reed, S. & Morris, A., 2008. *Glossary of Data Variables for Fatal and accident causation databases, Deliverable 5.5*, Brussels: SafetyNet Project.
- Ricoeur, P., 2003. *Tiempo y narración I: Configuración del tiempo en el relato histórico*. México: Siglo XXI.
- Rivers, R., 2006. *Evidence in Traffic Crash Investigation and Reconstruction: Identification, Interpretation and Analysis of Evidence, and the Traffic Crash Investigation and Reconstruction Process*. Springfield: Charles C Thomas Publisher.
- Rockwell, T., 1972. Skills, judgment and information acquisition in driving. En: T. Forbes, ed. *Human factors in highway traffic safety*. New York: Wiley-Interscience, pp. 133-164.
- Rodriguez Jouvencel, M., 2000. *Biocinematica del Accidente de Tráfico*. Madrid, Diaz de Santos.
- Roma University, 2012. *Pan-European In-Depth Road Accident Investigation Systema*. [En línea] Available at: <https://www.ctl.uniroma1.it/dacota/> [Último acceso: 01 08 2015].
- Roman, J. L., Alvarez-Caldas, C., Quesada, A. & Olmeda, E., 2007. Head injury criterion: the best way to evaluate head damage?. *International journal of vehicle design*, 45(3), pp. 411-425..
- Roman, S., 2002. *Access database design & programming.* 3 ed. Sebastopol: O'Reilly Media.
- Ruiz, M., Pardo, A. & San Martín, R., 2010. Modelos de ecuaciones estructurales. *Papeles del Psicólogo*, 31(1), pp. 34-45.
- Runyan, C. W., 2003. Introduction: Back to the Future—Revisiting Haddon's Conceptualization of Injury Epidemiology and Prevention., *Epidemiologic Reviews*, Volumen 25, pp. 60-65.
- Sagberg, F., 2007. *A methodological study of the Driving Reliability and Error Analysis Method (DREAM)*, Report 912/2007,, Oslo: Institute of Transport Economics (TØI).
- San Roman Garcia, J. L., 1994. *Dinámica de las colisiones frontales entre vehículos de grandes dimensiones y turismos y su relación con las consecuencias para las personas implicadas en las mismas*. Tesis Doctoral ed. Madrid: Universidad Politécnica, ETS Ingeniería Industrial.
- San Román, J., Aparicio, F. & Aguilar, E., 1993. *Frontal collisions between large dimensions vehicles and cars in Spain*. Aachen, 26 th International Symposium on Automotive Technology and Automation (ISATA).
- San Roman, J. L., Alvarez-Caldas, C., Quesada, A. & Olmeda, E., 2007. Head injury criterion: the best way to evaluate head damage?. *International journal of vehicle design*, 45(3), pp. 411-425..
- San Roman, J., Vera, C. & Aparicio, F., 1995. Theoretic model for the computer analysis of vehicle collisions. *Safety Science*, Issue 19, pp. 179-189.

- Schick, S., 2009. *Accident related factors*, Brussels: TRACE project.
- Schmidt-Cotta, R., 2009. *VERONICA – II, Vehicle Event Recording based on Intelligent Crash Assessment Final Report*, Brussels: Veronica Project.
- Schmidt-Cotta, R.-R. y otros, 2006. *VERONICA: Vehicle Event Recording based on Intelligent Crash Assessment; Project Final Report*, Brussels: Veronica Project, European Commission, Directorate-General for Energy and Transport.
- Schmidt, D. & Nagel, D., 1971. *Pedestrian Impact Case Study*. Colorado Springs, Proceedings of 15 th Conference Association for Automotive Medicine.
- Schmitt, K. U., Niederer, P. F. & Walz, F., 2010. *Trauma biomechanics: Introduction to accidental injury*. 3º ed. Berlin: Springer.
- Searle, J. A., 1993. The physics of throw distance in accident reconstruction, (No. 930659). SAE Technical Paper.. En: *Accident Reconstruction: Technology and Animation*. Warrendale: Society of Automotive Engineers , pp. 71-81.
- Searle, J. A. & Searle, A., 1983. *The Trajectories of Pedestrians, Motorcycles, Motorcyclists etc following a Road Accident*, Warrendale: Society of Automotive Engineers (SAE).
- Seeck, A. y otros, 2009. *Development of the accident investigation and data handling methodology in the GIDAS project*, Stuttgart: Proceedings of International Technical Conference on the Enhanced Safety Vehicle (ESV).
- Seguí-Gómez, M. & Lopez Valdes, F., 2007. Análisis de accidentes de tráfico recogidos en sistemas de información. En: C. Arregui Dalmases, J. Luzón Navarro & M. Seguí-Gómez, edits. *Fundamentos de Biomecánica en las lesiones por accidente de tráfico*. Madrid: Dirección General de Tráfico, pp. 133-150.
- Shankar, U., 2003. *Pedestrian Roadway Fatalities 2003, DOT HS 809 456*, Washington: National Highway Traffic Safety Administration, U.S. Department of Transportation.
- Shappell, S. & Patterson, J. M., 2010. Operator error and system deficiencies: Analysis of 508 mining incidents and accidents from Queensland, Australia using HFACS. *Accident Analysis and Prevention*, Volumen 42, p. 1379–1385.
- Shappell, S. & Wiegmann, D., 2000. *The Human Factors Analysis and Classification System (HFACS)*, Report Number DOT/FAA/AM-00/7, Washington: Office of Aerospace Medicine.
- Shappell, S. & Wiegmann, D., 2001. *A Human Error Analysis of Commercial Aviation Accidents, Using the Human Factors Analysis and Classification System (HFACS)*, Washington: Office of Aviation Medicine, Federal Aviation Administration.
- Shappell, S. & Wiegmann, D., 2003. *A Human Error Approach to Aviation Accident Analysis*. Aldershot: Ashgate.
- Shields, B., Morris, A., Barnes, J. & Fildes, B., 2001. *Australia's National Crash In-depth Study Progress Report*, July Clayton: Accident Research Centre, Monash University.
- Shinar, D., 2007. *Traffic Safety and Human Behavior*, Oxford: Elsevier.
- Shinar, D., Treat, J. & McDonald, S. T., 1983. The validity of police reported accident data. *Accident Analysis & Prevention*, 15(3), pp. 175-191.
- Silberschatz, A., Korth, H. F. & Sudarshan, S., 2006. *Database system concepts (Vol. 4)*, 6 ed. New York: McGraw-Hill.
- Singleton, N., Daily, J. & Manes, G., 2008. Automobile Event Data Recorder Forensics. En: S. S. RAY Indrajit, ed. *Advances in Digital Forensics IV, IFIP*. New York: Springer, pp. 261-272.
- Sklet, S., 2002. *Methods for accident investigation*, Trondheim: Norwegian University of Science and Technology,.
- Skyttner, L., 2005. *General Systems Theory*. 2 ed. Singapore: World Scientific Publishing.
- Smeed, R. J., 1949. Some statistical aspects of road safety research. *Journal of the Royal Statistical Society. Series A (General)* , 112(1), p. 1–34. .
- Snedeker, J. G. & Muser, M., 2003. Assessment of pelvis and upper leg injury risk in car-pedestrian collisions: comparison of accident statistics, impactor tests and a human body finite element model. *Stapp Car Crash Journal* , Volumen 47, pp. 437-457.
- Snedeker, J. G. W. F. H. M. M. H. L. C. & S. G., 2005. *Assessing femur and pelvis injury risk in car-pedestrian collisions: comparison of full body PMTO impacts, and a human body finite element model*. In *19th International Tec*. Nagoya, Proceedings of 19th International Technical Conference on the Enhanced Safety of Vehicles (ESV) .



- Stcherbatcheff, G. y otros, 1975. *Simulation of Collisions Between Pedestrians and Vehicles Using Adult and Child Dummies*, SAE Technical Paper 751167, Warrendale: Society of Automotive Engineers (SAE).
- Stephen, M., 2006. *Databases with Access, Learning Made Simple*, Oxford: Elsevier.
- Stevenson, T., 2006. *Simulation of vehicle-pedestrian interaction*. Canterbury: University of Canterbury.
- Sturtz, G. y otros, 1976. *Biomechanics of Real Child Pedestrian Accidents*, SAE Technical Paper 760814, Warrendale: Society of Automotive Engineers (SAE).
- Surry, J., 1969. *Industrial accident research: A human engineering appraisal*, Toronto. Toronto: Occupational Health and Safety Division, Ontario Ministry of Labour, .
- Svenson, O., 2000. *Accident Analysis and Barrier Function (AEB) Method: Manual for Incident Analysis*, "SKI Project 97176,, Stockholm : Stockholm University.
- Talaia, M. & Amaro, N., 2012. A segurança rodoviária e os acidentes, estudo de caso. *Territorium*, Issue 19, pp. 209-214.
- TASS, 2015. *MADYMO, Accident Reconstruction, Defining the cause of crashes and its effects*. [En línea] Available at: <https://www.tassinternational.com/accident-reconstruction> [Último acceso: 25 07 2015].
- Teijeira Alvarez, R., 2007. Biomecánica de la lesiones torácicas y abdominales. En: C. Arregui Dalmases, J. Luzón Navarro & M. Seguí-Gómez, edits. *Fundamentos de Biomecánica en las lesiones por accidente de tráfico*. Madrid: Dirección General de Tráfico , pp. 331-350.
- Thiriez, K., Radja, G. & Toth, G., 2002. *Large Truck Crash Causation Study – Interim Report*, DOT HS 809 527, Washington: U.S. Department of Transportation, National Highway Traffic Safety Administration, National Center for Statistics and Analysis, Crash Investigation Division.
- Thomas, P., 2006. *Future Research Directions in Injury Biomechanics and Passive Safety Research*, Bron: International Research Council on the Biomechanics of Impact (IRCOBI).
- Thomas, P. y otros, 2001. *The Methodology of on the Spot Accident Investigations in The UK*, , Paper Number 350, Amst. 17th International Technical Conference on the Enhanced Safety of Vehicles (ESV), Amsterdam.
- Thomas, P., Morris, A., Otte, D. & Breen, J., 2003. *Real-World Accident Data—Coordinated Methodologies for Data Collection to Improve Vehicle and Road Safety*. Nagoya, 18th International Technical Conference on the Enhanced Safety of Vehicles (ESV).
- Thomas, P., Morris, A., Talbot, R. & Fagerlind, H., 2013. Identifying the causes of road crashes in Europe. *Annals of Advances in Automotive Medicine*, Volumen 57, p. 13–22.
- Thomas, P. y otros, 2006. *Pan-European Co-ordinated Accident and Injury Databases PENDANT Final Technical Report*, Brussels: Project PENDAT.
- Tira, M., Bresciani, C. & Costa, F., 2008. *A decision tool for improving road safety for pedestrians*. Barcelona, Walk 21.
- Toft, Y., Dell, G., Klockner, K. & Hutton, A., 2012. Models of Causation: Safety . En: H. (. a. S. P. Alliance), ed. *The Core Body of Knowledge for Generalist OHS Professionals*. Tullamarine : Safety Institute of Australia., pp. 1-25.
- Tomasch, E., 2004. *Accident Reconstruction Guidelines, Part of Deliverable D4*, Brussels: PENDANT project.
- Tomás, J., Rodrigo, M. & Oliver, A., 2005. Modelos lineales y no lineales en la explicación de la siniestralidad laboral. *Psicothema*, 17(1), pp. 154-163.
- Toor, A. & Araszewski, M., 2003. Theoretical vs empirical solutions for vehicle/pedestrian collisions, SAE paper 2003-02-0883,. *Society of Automotive Engineers (SAE)*, Volumen 2003, pp. 117-127.
- Toor, A. y otros, 2002. *Revision and Validation of Vehicle/Pedestrian Collision Analysis Method*, SAE paper n° 2002-01-0550, Warrendale: Society of Automotive Engineers (SAE).
- Trapečar, M., Lipcnik, M. I. & Balazic, J., 2012. Identification of Drivers in Traffic Accidents and Determination of Passenger Position in a Vehicle by Finger Marks. *Promet – Traffic&Transportation*, 24(1), pp. 53-61.
- Treat, J. R. y otros, 1979. *Tri-level study of the causes of traffic accidents: final report, Executive summary*, Bloomington: Indiana University, Institute for Research in Public Safety.
- Treat, J. R. y otros, 1979. *Tri-level study of the causes of traffic accidents: final report, volume 1*, Bloomington: Indiana University, Institute for Research in Public Safety.

- Treat, J. R. y otros, 1979. *Tri-level study of the causes of traffic accidents: final report, volume 2: special analyses*, Bloomington: Indiana University, Institute for Research in Public Safety.
- UC3M, 2014. *Mecánica Experimental, Cálculo y Transportes (MECATRAN)*. [En línea] Available at: [http://portal.uc3m.es/portal/page/portal/grupos\\_investigacion/mecatron](http://portal.uc3m.es/portal/page/portal/grupos_investigacion/mecatron) [Último acceso: 28 12 2014].
- Underwood, P. & Waterson, P., 2013. *Accident analysis models and methods: guidance for safety professionals*, Loughborough: Loughborough University.
- UNECE, 2009. *Illustrated Glossary for Transport Statistics*. 4 ed. Geneva: United Nations Economic Commission for Europe (UNECE).
- United Nations, 2009. *United Nations Decade of Action for Road Safety 2011-2020*. [En línea] Available at: <http://www.un.org/en/roadsafety/> [Último acceso: 29 12 2014].
- Vallet, G. y otros, 1998. *An Approach to the Standardisation of Accident and Injury Registration (STAIRS) in Europe, Paper Number 98-S6-P-16*. Windsor, Enhanced Safety of Vehicles (ESV), pp. 1298-1305.
- Vallet, G. y otros, 1999. *STAIRS-Standardisation of Accident and Injury Registration: final report*, Brussels: STAIRS project.
- Van Elslande, P. & Fouquet, K., 2007. *Analyzing 'human functional failures' in road accidents*, Brussels: TRACE project.
- Van Elslande, P., Naing, C. & Engel, R., 2008. *Analyzing Human Factors in road accidents*, Brussels: TRACE project.
- Van Schijndel-de Nooij, M. y otros, 2009. *Final APROSYS Report, D9.1.1 I, AP-SP90-0008*, Brussels: APROSYS.
- Versace, J., 1971. *A review of the Severity Index, SAE Paper n° 710881*. Warrendale, Proceedings of the fifteenth staap car crash conference, Society of Automotive Engineers (SAE).
- Vincoli, J. W., 2006. *Basic Guide To System Safety*. 2ª ed. New Jersey: Wiley-Interscience.
- Von Bertalanffy, L., 1976. *Teoría General de los Sistemas: Fundamentos, Desarrollo, Aplicaciones*. 2º ed. Madrid: Fondo de Cultura Económica.
- Von Bortkiewicz, L., 1898. *Das Gesetz der kleinen Zahlen*. Leipzig: B.G. Teubner.
- Vries, Y. W. R. d. & Jongerius, N. A., 2007. *Method For In-Depth Traffic Accident Case-Control Studies*, Berlin: Bundesanstalt für Straßenwesen. 110-117.
- Wakim, C. F., 2005. *Étude de la prédiction de chocs véhicule-piéton*, Paris: Université Paris XI, UFR Scientifique S'Orsay.
- Warner, H. y otros, 2008. *Driving Reliability and Error Analysis Method, Manual for DREAM 3.0*, Brussels: SafetyNet.
- Weaver, D., 1971. Symptoms of operational error. *Professional Safety*, 16(10), pp. 17-23.
- WHO, 2013a. *Global status report on road safety 2013: supporting a decade of action*, Geneva: World Health Organization (WHO).
- WHO, 2013b. *Health statistics and information systems, estimates for 2000–2012*. [En línea] Available at: [http://www.who.int/healthinfo/global\\_burden\\_disease/estimates/en/index1.html](http://www.who.int/healthinfo/global_burden_disease/estimates/en/index1.html) [Último acceso: 28 12 2014].
- WHO, 2013c. *More than 270 000 pedestrians killed on roads each year*. [En línea] Available at: [http://www.who.int/mediacentre/news/notes/2013/make\\_walking\\_safe\\_20130502/en/](http://www.who.int/mediacentre/news/notes/2013/make_walking_safe_20130502/en/) [Último acceso: 30 12 2014].
- WHO, 2014. *Projections of mortality and causes of death, 2015 and 2030*. [En línea] Available at: [http://www.who.int/healthinfo/global\\_burden\\_disease/projections/en/](http://www.who.int/healthinfo/global_burden_disease/projections/en/) [Último acceso: 28 12 2014].
- Wilde, G. J., 1998. Risk homeostasis theory: an overview.. *Injury Prevention*, 4(2), pp. 89-91.
- Wilde, G. J., Robertson, L. & Pless, I. B., 2002. Does risk homeostasis theory have implications for road safety. *BMJ, British Medical Journal (BMJ)*, 324(7346), pp. 1149-1152.
- Wood, D., 1991. *Application of pedestrian impact model to determination of impact speed, SAE paper 910814*, Warrendale: Society of Automotive Engineers (SAE).
- Wood, D. P., 1988. Impact and Movement of Pedestrians in Frontal Collisions with Vehicles. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers*, Part D(202), pp. 101-110.

- Wood, D. P., 1995. Determination of Speed from Pedestrian Throw Using Pedestrian Kinematics to Determine Vehicle Speed at Impact in Pedestrian-Vehicle Accidents. En: T. Bohan & A. Damask, edits. *Forensic Accident Investigation: motor vehicles*. Charlottesville: Michie Butterworth, pp. 75-109.
- Wood, D. P. & Simms, C. K., 2000. A hybrid model for pedestrian impact and projection. *International Journal of Crashworthiness*, 5(4), pp. 393-404.
- Wood, D. P. & Walsh, D. D., 2002. Pedestrian forward impact projection. *International Journal of Crashworthiness*, 7(3), pp. 285-305.
- Wood, D. & Simms, C., 2000. Coefficient of friction in pedestrian throw. *Impact, Journal of ITAI*, 9(1), pp. 12-14.
- Wood, D. & Simms, C., 2009. *Pedestrian and Cyclist Impact, a biomechanical perspective*. London: Springer.
- Wood, D., Simms, C. & Walsh, D., 2004. Confidence limits for impact speed estimation from pedestrian projection distance. *International Journal of Crashworthiness*, 9(2), p. 219-228.
- Wood, D., Simms, C. & Walsh, D., 2005. Validated models for pedestrian impact and projection. *Proc. IMechE. J. Automobile Engineering*, 219(D), pp. 1-13.
- Xu, H. & Fan, Y., 2007. *Simulation Research on Form and Kinematics Law of Contact Process for Automobile-Pedestrian Collision Based on the Coupling of PC-Crash and MADYMO*. Chengdu, International Conference on Transportation Engineering.
- Yang, J., 2005. Review of injury biomechanics in car-pedestrian collisions. *International journal of vehicle safety*, 1(1-3), pp. 100-117.
- Yang, J., Huang, S. & Eklund, F., 2006. *Analysis of Car-Pedestrian Impact Scenarios for the Evaluation of a Pedestrian Sensor System Based on the Accident Data from Sweden*. Hannover, Expert Symposium on Accident Research (ESAR).
- Yang, J. & Otte, D., 2007. *A comparasion study on vehicle traffic accident and injuries of vulnerable road users in China and Alemania, Paper Number 07-0417*. Lyon, 20th International Technical Conference on the Enhanced Safety of Vehicles Conference (ESV).
- Yin, R. K., 2009. *Case study research : design and methods*. 4 ed. Thousand Oaks: SAGE.
- Zegeer, C. V., 1987. Uses and Limitations of Police Accident Data, SAE Technical Paper num. 870072. *Society of Automotive Engineers (SAE)*, pp. 43-53.
- Ziernicki, R. M., Danaher, D. & Ball, J., 2007. Forensic Engineering Evaluation of Physical Evidence in Accident Reconstruction. *Journal of the National Academy of Forensic Engineers*, 24(2), pp. 1-10.
- Zotov, D., 2000. *Scientific methods for accident investigation*. [En línea] Available at: [http://www.asasi.org/papers/scientific\\_methods.pdf](http://www.asasi.org/papers/scientific_methods.pdf) [Último acceso: 23 04 2015].

## ANEXO I: CASO 20122201 DIRAT

**Resumen:** Sinistro vial ocurrido el día 21 de abril de 2012, sobre las 21:30 horas, a la altura del punto kilométrico 107,650 de la carretera A-7 (Algeciras – Tarragona), en el término municipal y partido judicial de Algeciras (Cádiz), consistente en el atropello a un peatón por parte del vehículo todoterreno, marca Land Rover, modelo Discovery 3 TDV6 S, resultando a consecuencia del mismo fallecido el peatón y daños de consideración en el vehículo.

### 1. PROCESAMIENTO ESCENA

#### 1.1 Factor humano

##### 1.1.1 Conductor

<b>Edad (años):</b>	44
<b>Altura (m):</b>	NC
<b>Peso (estimado) (kg):</b>	75
<b>Antigüedad permiso:</b>	18
<b>Restricciones:</b>	No
<b>Pruebas de alcoholemia:</b>	Negativo
<b>Pruebas de drogas:</b>	Negativo
<b>Consecuencias lesivas:</b>	Ileso
<b>Manifestación:</b>	...circulaba sentido Los Barrios...por el carril izquierdo de los dos existentes a una velocidad aproximada de entre 40 y 60 km/h, en 3ª velocidad...que acababa de salir del semáforo del cruce de San José Artesano...que observó como el semáforo existente frente a la estación de servicio "BP" se encontraba en la fase verde...que cuando se encontraba a un par de metros del paso de peatones de dicho semáforo observó repentinamente la presencia de un cuerpo humano...que de forma repentina hice la intención de tocar el pedal de freno, pero incluso antes de tocarlo notó un olor a humo muy raro que cree que fue el airbag...

##### 1.1.2 Peatón

<b>Edad (años):</b>	66
<b>Altura (m):</b>	1,60
<b>Altura cdg (m) (60% total):</b>	0,96
<b>Peso (estimado) (kg):</b>	80
<b>Estado:</b>	Según manifiesta su esposa, padecía de los nervios.
<b>Vestimenta:</b>	Camiseta de cuadros en blanco, rojo y azul, de mangas cortas. Pantalón corto de color beige y calcetines oscuros. Zapatos de material de color marrón. Gorra de color oscuro y gafas graduadas de pasta
<b>Prenda alta visibilidad:</b>	No
<b>Pruebas de alcoholemia:</b>	NC
<b>Pruebas de drogas:</b>	NC
<b>Consecuencias lesivas:</b>	muerto

##### 1.1.3 Testimonios

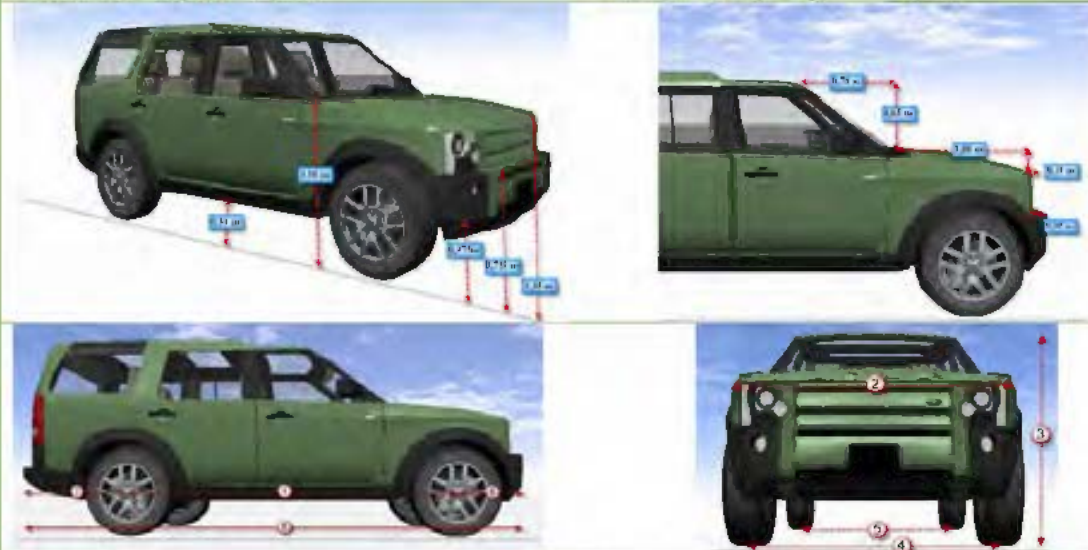
<b>Testigo 1:</b>	Tampoco había visto al peatón.
<b>Condiciones:</b>	Hija del conductor, ocupante del asiento anterior derecho

#### 1.2 Vehículo

##### 1.2.1 Datos



<b>Marca:</b>	Land Rover	<b>Modelo:</b>	Discovery 3 TDV6 S
<b>Tipo:</b>	Todo-terreno	<b>ITV:</b>	vigor
<b>Cilindrada (cc):</b>	2720	<b>Potencia fiscal (cvf):</b>	18,83
<b>Peso vacío (kg):</b>	2505	<b>Plazas:</b>	5
<b>ABS:</b>	Si	<b>Otras ayudas:</b>	NC
<b>Batalla (m):</b>	2,885	<b>Anchura (m):</b>	1,915
<b>Longitud (m):</b>	4,835	<b>Altura (m):</b>	1,882
<b>Vía Ant (m):</b>	1,605	<b>Vía Post (m):</b>	1,612
<b>Voladizo Ant. (m):</b>	0,820	<b>Voladizo Post (m):</b>	1,130



Neumáticos	Del. Dcho.	Del. Izdo.	Tras. Dcho.	Tras. Izdo.
<b>Marca:</b>	NC	NC	NC	NC
<b>Modelo:</b>	NC	NC	NC	NC
<b>Código:</b>	NC	NC	NC	NC
<b>Estado de conservación:</b>	NC	NC	NC	NC
<b>Profundidad dibujo (mm):</b>	NC	NC	NC	NC
<b>Presión (bar):</b>	NC	NC	NC	NC

### 1.2.2 Daños

<b>Cristal parabrisas:</b>	A Zona derecha del parabrisas, en su altura media, se aprecia un punto de impacto que ocasiona el resquebrajamiento propio del vidrio en forma de tela de araña. Daño inducido por el airbag.
<b>Rejilla delantera:</b>	B Arrugamiento y doblez en su estructura plástica, concretamente en el segmento que une la rejilla con el faro anterior izquierdo.
<b>Parachoques del.:</b>	C Un hundimiento en forma de ralladura oblicua a la altura media de la zona izquierda de la estructura plástica del paragolpes.

<b>Capó:</b>	D	El arrugamiento y deformación lineal, con una zona final de impacto ovalada.
<b>Airbag:</b>	E	el airbag, tanto del conductor (volante) como el del pasajero (ocupante anterior derecho), se encuentran desplegados tras el atropello
<b>Cristal faro izdo:</b>	F	Rotura parcial del cristal protector del faro anterior izquierdo
<b>Aleta:</b>	G	Descuelgue parcial de la aleta anterior izquierda del vehículo

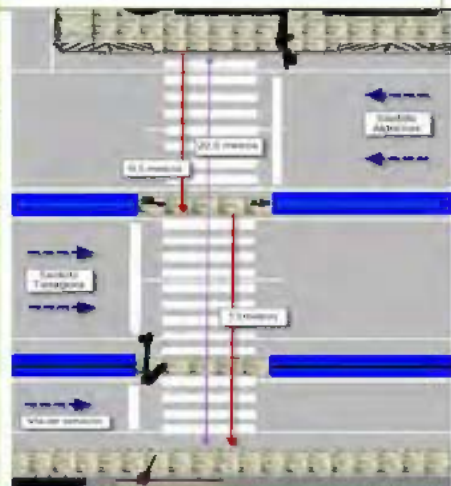
### 1.3 Vía

#### 1.3.1 Situación

<b>Vía:</b>	Carretera
<b>Denominación:</b>	A-7 (Algeciras – Tarragona)
<b>Número:</b>	107,650 pk
<b>Localidad:</b>	Algeciras
<b>Termino Mun.:</b>	Algeciras
<b>Partido Jud.:</b>	Algeciras
<b>Provincia:</b>	Cádiz
<b>Longitud:</b>	5° 27' 16,99"
<b>Latitud:</b>	36° 9' 5,78"
<b>Tipo de vía:</b>	Travesía. Carretera nacional desdoblada interurbana por casco urbano.
<b>Titularidad:</b>	Estatal.
<b>Fotografía sit.:</b>	

#### 1.3.2 Configuración de la vía

<b>Trazado:</b>	Tramo recto y a nivel con respecto al plano horizontal de la plataforma.
<b>Pendiente (%):</b>	NC
<b>Anchura plataforma:</b>	22,5 m
<b>Anchura carril dcho:</b>	3,6 m
<b>Anchura carril izdo:</b>	3,6 m
<b>Anchura calzada:</b>	7,2 m (derecha)
<b>Anchura de arcenes:</b>	0,30 m, el izquierdo
<b>Acerado dcho:</b>	NC
<b>Acerado izdo:</b>	NC
<b>Bordillo:</b>	NC
<b>Observaciones:</b>	Compuesta por dos calzadas, una para cada sentido de circulación, divididas ambas por mediana de separación física de ambos sentidos de circulación. Flanqueada por muro de hormigón compacto del tipo new yérsey. Pintada de





azul y altura de 0,62 metros. A ella se fijan los postes de iluminación artificial por farolas y las señales verticales de tráfico.



<b>Firme:</b>	Flexible, aglomerado asfáltico
<b>Estado firme:</b>	Buen estado de conservación y rodadura
<b>Superficie:</b>	Seca y limpia de sustancias deslizantes
<b>Luminosidad:</b>	Nocturna, luz artificial, suficientemente iluminada por farolas
<b>Cond. atmosféricas:</b>	Cielo despejado, sin lluvia, viento o niebla
<b>Visibilidad:</b>	Buena
<b>Estado de la circulación:</b>	Sin apenas circulación
<b>Observaciones:</b>	La grabación en video permite observar la visibilidad del peatón.

#### 1.3.3 Indicios y evidencias del peatón sobre la vía

<b>Objetos del peatón:</b>	Gorra (4), cristal de las gafas (5), gafas (6), zapato derecho (7), zapato izquierdo (8) y peine (9).
----------------------------	---

**Fotografía posición:**





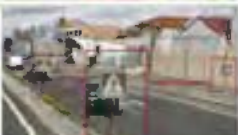
#### 1.3.4 Indicios y evidencias del vehículo sobre la vía

<b>Huellas de neumático:</b>	No
<b>Restos del vehículo:</b>	No
<b>Fotografía posición:</b>	No



### 1.4 Sistema socionormativo

<b>Límite de velocidad genérico (Km/h):</b>	120
<b>Límite de velocidad específico (Km/h):</b>	50
<b>Paso de peatones:</b>	Si
<b>Regulación semafórica:</b>	Si
<b>Obligatoriedad elementos retrorreflectantes:</b>	No

#### 1.4.1 Señalización vertical

Código	Denominación	Descripción	Fotografía/posición
R-301	Velocidad máxima "50 km/h".	Instalada a 600 metros antes del escenario del siniestro. (Instalada en ambos lados de la calzada)	
P-3	Semáforos.	Peligro por la proximidad de una intersección aislada o tramo, con la circulación regulada por semáforos. (Instalada en ambos lados de la calzada)	
R-301	Situación de un paso para peatones.	Indica la situación de un paso para peatones. (Instalada en ambos lados de la calzada)	

#### 1.4.2 Señalización horizontal

Código	Denominación	Descripción	Fotografía/posición
NC	Paso de Peatones	Bandas paralelas al eje de la calzada y formando un conjunto transversal a la misma. Al tratarse de una calzada de un sentido de circulación, se disponen una línea de detención en cada calzada. Buen estado de la pintura.	
NC	Líneas blancas continuas y discontinuas	Los mencionados carriles se encuentran delimitados por líneas longitudinales discontinuas blancas, a excepción de las separadoras entre calzada y arcenes, que son continuas.	

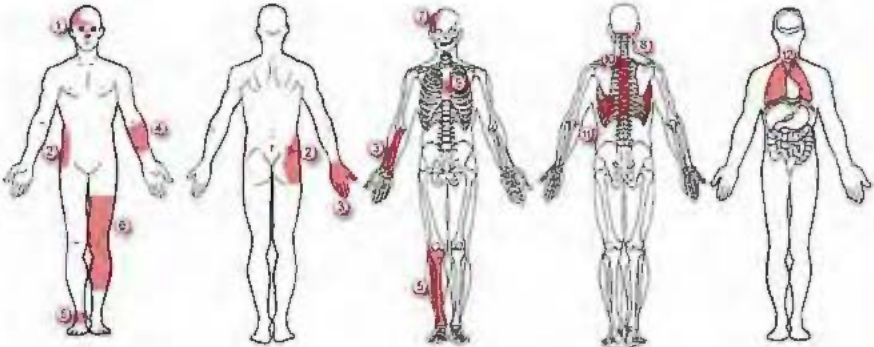
## 2. INVESTIGACIONES ADICIONALES

### 2.1 Factor Humano

#### 2.1.1 Datos adicionales sobre el peatón

<b>Pruebas de alcoholemia:</b>	NC	
<b>Pruebas de drogas:</b>	NC	
<b>Velocidad desplazamiento:</b>	El peatón dada su edad y la acción de cruzar la calzada, se estima que llevaba una velocidad estimada de 1,33 m/s (4,8 km/h).	

#### 2.1.2 Lesiones de la víctima

<b>Gráfico lesiones:</b>	
--------------------------	--



<b>Cabeza:</b>	1	Herida parietal derecha, erosiones a nivel frontal y nasal.	AIS1
<b>Abdomen dcho:</b>	2	Hematoma abdominal derecho que se extiende hasta glúteo derecho. Hematoma a nivel de zona medial de glúteo derecho	AIS1
<b>Brazo dcho:</b>	3	Fractura de cúbito y radio derechos, tercio medio, con angulación. Hematoma que ocupa la práctica totalidad del dorso de la mano derecha y tercio distal de antebrazo.	AIS2
<b>Brazo izdo:</b>	4	Hematoma antebrazo	AIS1
<b>Pierna dcha:</b>	5	Fractura de tibia y peroné derechos. Hematoma y erosiones a nivel de maléolo externo.	AIS2
<b>Pierna izda:</b>	6	Hematoma cara interna de muslo y pierna izquierdos.	AIS1
<b>Cabeza:</b>	7	Fractura horizontal a nivel de parietal derecho.	AIS2
<b>Columna:</b>	8	El cráneo no se encuentra insertado de la columna cervical.	AIS6
<b>Esternón:</b>	9	Fractura de tercio medio esternal.	AIS2
<b>Columna:</b>	10	Fractura de columna dorsal.	AIS6
<b>Torso:</b>	11	Volet costal bilateral predominantemente de arcos posteriores en hemotórax izquierdo y laterales en el derecho.	AIS4
<b>Pulmón:</b>	12	Hemotórax bilateral con múltiples desgarros en los pulmones.	AIS5

## 2.2 Vía

### 2.2.1 Croquis



### 2.2.2 Grabación secuencial en video

<b>Grabación video:</b>	Si
<b>Fecha:</b>	24/10/2012
<b>Hora:</b>	21:30

<b>Fotograma grabación:</b>	
<b>Observaciones:</b>	Tiempo humedo.

### 2.3 Vehículo

#### 2.3.1 Pruebas de frenada

<b>Pruebas de frenada:</b>	Si			
<b>Acelerómetro:</b>	Vericom VC-3000 PC			
<b>Coef. rozamiento (<math>\mu</math>)</b>	-0.814			
	Velocidad (km/h)	Coeficiente de rozamiento ( $\mu$ )	Tiempo de frenado (s)	Distancia de frenado (m)
<b>Prueba nº 1</b>	54,79	-0.813	1,91	14,94
<b>Prueba nº 2</b>	71,05	-0.815	2,47	24,67
<b>Prueba Media</b>	62.92 <sup>a</sup>	-0.814	2,19	19,81

#### 2.3.2 Indicios y evidencias del peatón sobre el vehículo

<b>Restos biológicos</b>	No
<b>Fotografía evidencias:</b>	No

### 2.4 Socionormativo

<b>Normativa peatón:</b>	Si el paso dispone de semáforos para peatones, obedecerán sus indicaciones (artículo 124. 1.a) RGCir).
<b>Normativa conductor:</b>	Velocidad máxima permitida casco urbano 50 km/h (art. 19.3 LSV y art. 50.1)

## 3. RECONSTRUCCIÓN DEL SINIESTRO VIAL

### 3.1 Evento crítico



<b>Evento crítico:</b>	Cruzar la calzada el peatón por un paso de peatones regulado por un semáforo que se encuentra en fase verde para los vehículos
<b>Fotografía EC:</b>	



### 3.2 Punto de Impacto

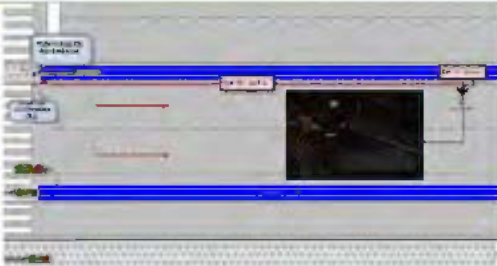
<b>POI coord. (m):</b>	(- 4,5;1,25)
<b>Fotografía POI:</b>	
<b>Observaciones:</b>	A través de la simulación informática con PC-Crash se determina que para que pueda seguirse la trayectoria biocinematica, los lugares de impacto en el vehículo y las lesiones en los órganos del peatón el POI se encuentra al comienzo del paso de peatones.

### 7.1 Posiciones en el Impacto


<b>Posición del peatón:</b>	Lateral derecho.
<b>Acción del peatón:</b>	Andando lento o parado.
<b>Cruzando la calzada:</b>	Si
<b>Vehículo frenando:</b>	No
<b>Trayectoria postimpacto:</b>	Envolvimiento
<b>Fotografía posición impacto:</b>	
<b>Fotografía posición impacto:</b>	

### 7.2 Posiciones significativas

#### 7.2.1 Posiciones finales

<b>Coordenadas PF peatón (m):</b>	(34,6; 0,5)
<b>Distancia proyección (S) (m):</b>	39,2
<b>Fotografía PF:</b>	

<b>Observaciones:</b>	Medición desde el POI. Su cuerpo quedó tendido sobre la superficie asfáltica en posición decúbito supino en el interior del carril izquierdo de los dos existentes para el sentido Tarragona. Se encuentra en el eje de referencia.
-----------------------	---

<b>Coordenadas PF vehículo (m):</b>	(31,3; 1,8)
<b>Distancia POI a PF veh. (m):</b>	35,80
<b>Fotografía PF:</b>	
<b>Observaciones:</b>	Medición eje delantero izquierdo desde el referencia. Se encontraba en el interior del carril izquierdo de los dos existentes para el sentido Tarragona, con su parte frontal orientada, longitudinalmente, hacia el citado sentido de circulación.

#### 7.2.2 Posición de Percepción Posible

<b>Coordenadas PPP (m):</b>	(-25,95; 1,5)
<b>Distancia POI a PPP (m):</b>	- 21,45
<b>Fotografía PPP:</b>	
<b>Observaciones:</b>	Obtenida en grabación de video y a través cálculo inverso en hoja Excel, confirmada en la simulación informática. La fotografía está tomada a 70 km/h y a 20 metros del POI.

#### 7.2.3 Posición de Percepción Real

<b>Coordenadas PPR (m):</b>	(-7,94;1,5)
<b>Distancia POI a PPR (m):</b>	-3,44
<b>Fotografía PF:</b>	No
<b>Observaciones:</b>	Realmente hay 0,18 segundos desde que el conductor observa al peatón dando el paso en la calzada hasta que impacta con él, por lo que ese impacto le parece simultáneo a la activación del airbag que es lo que declara y corrobora el testigo ocupante del vehículo.

#### 7.2.4 Posición de la Ejecución de la Decisión

<b>Coordenadas PED (m):</b>	(15,43; 1,5)
<b>Distancia POI a PED (m):</b>	10,93
<b>Fotografía PF:</b>	No
<b>Observaciones:</b>	Frenó 0,57 segundos después del impacto con el peatón. La distancia de detención del vehículo 23,56 m es coherente con la deceleración procedente de las pruebas de frenada.



### 7.2.5 Posición de No Escape

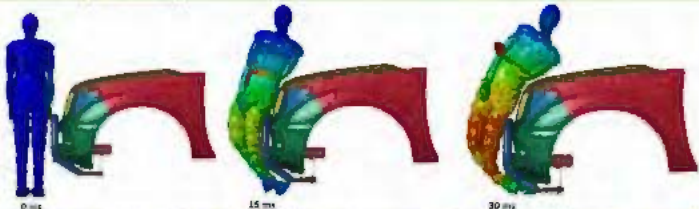
<b>Coordenadas PNE (m):</b>	(-45,88; 1,5)
<b>Distancia POI a PNE (m):</b>	-41,38
<b>Fotografía PF:</b>	No
<b>Observaciones:</b>	La velocidad del vehículo utilizada en el cálculo de la PNE es 69 Km/h. Si se utilizase la velocidad máxima de 50 km/h el atropello sería también inevitable, pero la velocidad de impacto en lugar de ser 69 km/h sería 42 km/h lo cual variaría sustancialmente el patrón lesional y su gravedad.

### 7.3 Análisis posiciones significativas

<b>Entre PPP y PPR:</b>	El conductor va atento a la circulación, tan solo tarda 1 segundo en detectar al peatón. Antes de entrar el peatón en la calzada era difícilmente visible en el refugio intermedio entre calzadas.
<b>Entre PPR y PED :</b>	Se ha utilizado un tiempo estándar de 0,75 segundos para el tiempo de reacción, pero este tiempo es coherente con el movimiento del peatón al introducirse en la calzada y con el tiempo que tarda en alcanzar el POI.
<b>Entre PED y POI:</b>	El PED está por detrás del POI ya que el Evento Crítico sucede con el vehículo muy próximo al POI.
<b>Entre PPP y PNE:</b>	El PNE está por delante del PPP sobre veinte metros, con la condición añadida de no ser visible el peatón parado en el refugio intermedio entre calzadas por lo que este atropello puede calificarse como inevitable para el conductor a la velocidad que llevaba (69 km/h).

### 7.4 Modelo de cálculo de la velocidad de impacto

#### 7.4.1 Empírico

<b>v<sub>v</sub> método empírico:</b>	11.1 m/s (40 km/h)
<b>Fotografía Método empírico:</b>	
<b>Observaciones:</b>	Ptak, M.; Karlinski, J. (2012), <i>Pedestrian Passive Safety During the SUV Impact: Regulations vs. Reality</i> , IRCOB Conference, Dublin, pp. 103-113

**MODELOS DE PROYECCIÓN CON ENVOLVIMIENTO****Datos de Entrada**

Coeficiente de rozamiento peatón	$\mu_p$	0,6	
Altura total del peatón	$h_p$	1,6	m
Distancia total de proyección del peatón	S	39,2	m
Eficacia de la proyección	EP	90,00%	

**MODELO SCHMIDT**

(Schmidt &amp; Nagel, 1971)

**Datos intermedios**

Altura del Centro de gravedad del peatón	$d_0$	0,96	m
--	-------	------	---

**Datos de salida**

$$v_p = \sqrt{(\mu_p^2 \times d_0) + (2 \times \mu \times g \times S) - (\mu_p \times d_0)}$$

Velocidad del peatón	$v_p$	77,28	Km/h
Velocidad del vehículo	$v_v$	85,86	Km/h

**MODELO COLLINS**

(Collins &amp; Morris, 1979)

**Datos intermedios**

Coeficiente de rozamiento peatón	$\mu_p$	0,8	
Altura del Centro de gravedad del peatón	$d_0$	0,96	m
Coeficiente a	a	0,06	
Coeficiente b	b	0,44	
Coeficiente c	c	-39,2	

$$a = \frac{1}{2\mu_p g}$$

$$b = \frac{\sqrt{d_0}}{7,97}$$

$$c = -S$$

**Datos de salida**

		-28,50	
Velocidad del peatón	$v_p$	21,56	m/s

Velocidad del peatón	$v_p$	77,63	Km/h
Velocidad del vehículo	$v_v$	86,25	Km/h

$$v_p = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

**MODELO SEARLE**

(Searle, 1993, p. 72)

**Datos intermedios**

Altura borde anterior del capó (medidas)	$h_0$	1,1	m
--	-------	-----	---

Velocidad mínima del peatón	$v_{p \text{ mínima}}$	15,65	m/s	56,35	Km/h
-----------------------------	------------------------	-------	-----	-------	------

Velocidad máxima del peatón	$v_{p \text{ máxima}}$	21,47	m/s	77,29	Km/h
-----------------------------	------------------------	-------	-----	-------	------

Velocidad vehículo (+20% $v_{p \text{ mínima}}$ )	$v_v$	18,78	m/s	67,62	Km/h
---	-------	-------	-----	-------	------

**RESUMEN MODELOS ESTADÍSTICOS****Datos de Entrada**

Coeficiente de rozamiento peatón	$\mu_p$	0,6	
Altura total del peatón	$h_p$	1,6	m
Distancia total de proyección del peatón	S	39,2	m
Eficacia de la proyección	EP	90,00%	

**Datos intermedios**

Altura del Centro de gravedad del peatón	$h_0$	0,96	m
--	-------	------	---

**MODELO DE SIMMS-WOOD**

(Wood, et al., 2004, p. 222)

	$S_0$	C	D	R
Probable inferior	1,8	3,7	0,47	0,99
Probable superior	1,4	4,3	0,46	0,99
Media	1,6	4	0,47	0,99

**Datos de salida**

$$v_p = C(S - S_0)^D$$

	ADULTO	
Vv Probable inferior	73,07	Km/h
Vv Probable superior	82,30	Km/h
Vv Media	79,20	Km/h

**MODELO DE APPEL**

$$v_{p, \text{forma de V}} = \sqrt{\frac{S}{0,065}} \quad v_{p, \text{adulto}} = \sqrt{\frac{S}{0,070}}$$

Velocidad vehículo forma V	$v_v$	88,41	Km/h
Velocidad vehículo atropella adulto	$v_v$	85,19	Km/h

**MODELO DE SEARLE**

(Searle, 1993, p. 74)

**Datos intermedios**

Coeficiente de rozamiento peatón	$\mu_p$	0,66
Eficacia de la proyección	EP	80,00%

**Datos de salida**

$$v_{p, \text{mínima}}^2 = \frac{2\mu_p S}{0,5 + 0,2\mu_p^2 + \sqrt{0,25 + 1,67\mu_p^2 + 0,04\mu_p^4}}$$

Velocidad peatón mínima	$v_p \text{ mínima}$	64,50	Km/h
Velocidad vehículo	$v_v$	80,63	Km/h

**MODELO DE LIMPET**

(Limpert, 1994, p. 545)

**Datos intermedios**

Coeficiente de rozamiento vehículo	$\mu_v$	0,8
Deceleración media	$a_v$	0,8 g

**Datos de salida**

$$v_v = 10,62 \sqrt{8,4a_v^2 + \frac{a_v \times S}{0,3048}} - (32,19a_v^2) \pm 4,02$$

Velocidad vehículo	$v_v$	88,91	Km/h	$\pm 4,02$
--------------------	-------	-------	------	------------

### MODELO DE RAU

(Rau, et al., 2000, p. 145; Depriester, et al., 2005, p. 7)

Datos de salida

$$v_v = \frac{-0,0783 \pm \sqrt{0,0061 + 0,02085}}{0,0104}$$

Velocidad vehículo	$v_v$	87,07 km/h	$\pm 5$ Km/h
--------------------	-------	------------	--------------

### MODELO DE FUGGER

(Fugger, et al., 2002, p. 9).

Datos de salida

$$v_v = 8,36045^{0,4046}$$

Velocidad vehículo	$v_v$	76.83 Km/h
--------------------	-------	------------

### MODELO DE TOOR

(Happer, et al., 2000, p. 6)

(Toor, et al., 2002, p. 8).

(Toor & Araszewski, 2003, p. 121)

Datos de salida

Velocidad vehículo modelo 2000	$v_v$	76.91 Km/h	$v_v = 12,7\sqrt{5} - 2,6$
Velocidad vehículo modelo 2002	$v_v$	78.67 Km/h	$v_v = 13,3\sqrt{5} - 4,6$
Velocidad vehículo modelo 2003	$v_v$	79.65 Km/h	$v_v = 9,84 s^{0,57}$

### MODELO DE STCHERBATCHEFF

(Stcherbatcheff, et al., 1975, p. 760)

Datos intermedios

Deceleración media

Coeficiente

Coeficiente

Coeficiente

$$\begin{array}{lll} a_v & 7,84 & s = \frac{v_v^2}{2 \times a_v} + (0,03 \times a_v \times v_v) \\ a & 0,06 & \\ b & 0,24 & \\ c & -39,2 & \end{array}$$

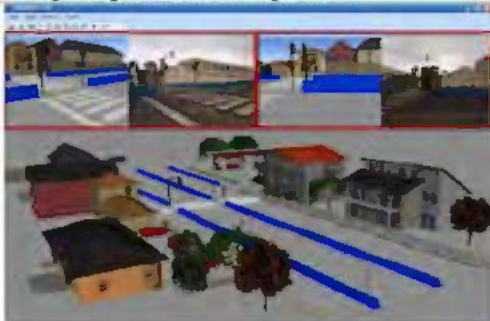
Datos de salida

$$v_v = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

Velocidad vehículo	$v_v$	82,86 Km/h
--------------------	-------	------------

## 3.7 Simulación informática

### 3.7.1 Datos de entrada

Datos entrada Vía:	Escenario 3-D que reproduce el croquis 2-D
Captura pantalla PC-Crash:	
Datos entrada peatón:	Edad, altura, peso, coeficiente de rigidez, coeficiente de rozamiento sobre el suelo y coeficiente de rozamiento con el vehículo

**Captura pantalla PC-Crash:**


**Datos entrada vehículo:**

**Captura pantalla PC-Crash:**

Datos geométricos, coeficiente de rozamiento, deceleración máxima	
1	0.200
2	0.140
3	0.200
4	0.200
5	0.200
6	0.200
7	0.200
8	0.200
9	0.200
10	0.200
11	0.200
12	0.200
13	0.200
14	0.200
15	0.200
16	0.200
17	0.200
18	0.200
19	0.200
20	0.200
21	0.200
22	0.200
23	0.200
24	0.200
25	0.200
26	0.200
27	0.200
28	0.200
29	0.200
30	0.200
31	0.200
32	0.200
33	0.200
34	0.200
35	0.200
36	0.200
37	0.200
38	0.200
39	0.200
40	0.200
41	0.200
42	0.200
43	0.200
44	0.200
45	0.200
46	0.200
47	0.200
48	0.200
49	0.200
50	0.200
51	0.200
52	0.200
53	0.200
54	0.200
55	0.200
56	0.200
57	0.200
58	0.200
59	0.200
60	0.200
61	0.200
62	0.200
63	0.200
64	0.200
65	0.200
66	0.200
67	0.200
68	0.200
69	0.200
70	0.200
71	0.200
72	0.200
73	0.200
74	0.200
75	0.200
76	0.200
77	0.200
78	0.200
79	0.200
80	0.200
81	0.200
82	0.200
83	0.200
84	0.200
85	0.200
86	0.200
87	0.200
88	0.200
89	0.200
90	0.200
91	0.200
92	0.200
93	0.200
94	0.200
95	0.200
96	0.200
97	0.200
98	0.200
99	0.200
100	0.200

<b>Datos entrada secuencia:</b>	Frenada (deceleración) simultánea al atropello
<b>Captura pantalla PC-Crash:</b>	NC

### 3.7.2 Resultados de salida

Distancia de proyección (m):	38,6
Vv impacto (m/s) (Km/h):	19,17
Captura pantalla PC-Crash:	



Capturas  
de  
pantalla  
(15 ms):



Secuencia  
completa:

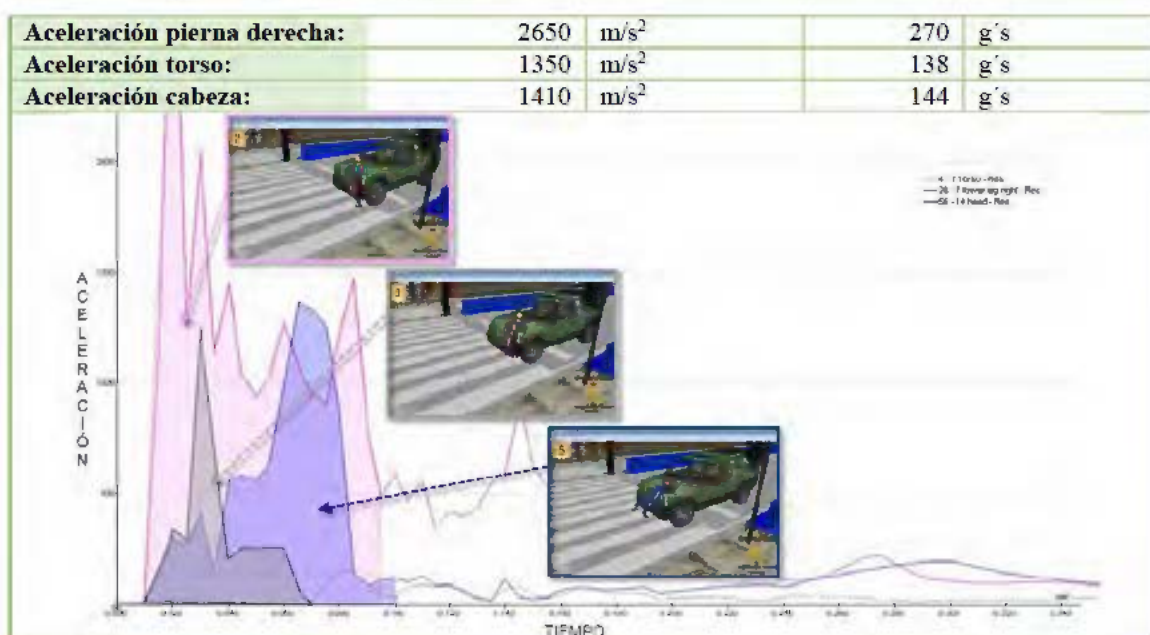




### 3.7.3 Comparación simulación con daños en el vehículo y lesiones en el peatón

			Fractura de tibia y peroné derechos. Hematoma y erosiones a nivel de maléolo externo. Fractura de cúbito y radio derechos, tercio medio, con angulación. Hematoma que ocupa la práctica totalidad del dorso de la mano derecha y tercio distal de antebrazo.
			Hematoma abdominal derecho que se extiende hasta glúteo derecho. Hematoma a nivel de zona medial de glúteo derecho. Fractura de tercio medio esternal. Fractura de columna dorsal. Volet costal bilateral predominantemente de arcos posteriores en hemitorax izquierdo y laterales en el derecho. Hemotórax bilateral con múltiples desgarros en los pulmones.
			Herida parietal derecha, erosiones a nivel frontal y nasal. Fractura horizontal a nivel de parietal derecho.
			Hematoma antebrazo izquierdo. Hematoma cara interna de muslo y pierna izquierdos. El cráneo se encuentra desinsertado de la columna cervical. Fractura de columna dorsal.

### 3.7.4 Análisis biomecánico



### 3.8 Clasificación tipológica del atropello

<b>Código:</b>	AFOSRS
<b>Descripción:</b>	Atropello en una travesía llevado a cabo por un automóvil todoterreno con su frontal que impacta a una persona, de edad avanzada erguido, en su lateral derecho cuando se encontraba cruzando la calzada por un paso de peatones regulado con semáforos con una trayectoria postimpacto de salto mortal.

### 3.9 Reconstrucción secuencial MOSES

[illegible]



## 4. ANÁLISIS DE LAS CAUSAS

### 4.1 Factor Humano

#### 4.1.1 Conductor

<b>Prevaje:</b>	No consta ninguna información relevante.
<b>Viaje:</b>	No consta la ruta, ni el motivo del viaje, ni la hora estimada de llegada. Estrategia de conducción arriesgada con una velocidad de circulación superior, al menos, en 20 km/h a la máxima permitida
<b>Preimpacto:</b>	
Percepción	Iba atento a las circunstancias del tráfico porque reaccionó con rapidez.
Intelección	
Evaluación	
Volición	
Ejecución	La maniobra evasiva de frenado no redujo la velocidad de impacto.
<b>Observaciones:</b>	La velocidad de circulación del vehículo, por encima de la máxima permitida (50 Km/h), no es una causa del atropello, ya que físicamente es inevitable, pero si hubiera circulado a la velocidad máxima permitida, su velocidad de impacto en lugar de ser 69 km/h sería 42 km/h lo cual variaría sustancialmente el patrón lesional y su gravedad.

#### 4.1.2 Peatón

<b>Prevaje:</b>	Tenía problemas de salud relacionados con su estado psicofísico.
<b>Viaje:</b>	No consta la ruta, ni el origen ni el destino, ni el motivo del desplazamiento, ni la hora estimada de llegada.
<b>Preimpacto:</b>	
Percepción	No percibe las luces del vehículo todoterreno acercándose a él.
Intelección	
Evaluación	
Volición	Cruza el paso de peatones con la luz roja para peatones
Ejecución	Cruza el paso de peatones cuando se acerca un vehículo a gran velocidad
<b>Observaciones:</b>	Existen argumentos racionales, aparte de los dos testimonios del conductor y el ocupante del vehículo, para pensar que el semáforo se encontraba en fase roja para los peatones. No hay testigos externos, es una conclusión lógica del desarrollo del siniestro vial

### 4.2 Vehículo

<b>Prevaje:</b>	ITV en vigor
<b>Viaje:</b>	No
<b>Preimpacto:</b>	No
<b>Observaciones:</b>	Su capacidad de frenada es normal para un vehículo de sus características.

### 4.3 Vía

<b>Trazado:</b>	La limitación de velocidad (50km/h) no es acorde con las características de la vía.
<b>Semáforo:</b>	No tiene pulsador para peatones en el semáforo intermedio en el refugio.
<b>Observaciones:</b>	La presencia de semáforos y pasos de peatones en una travesía con la intensidad de tráfico de esta autovía conlleva necesariamente conflictos.

### 4.4 Factor sacionormativo

<b>Normativa peatón:</b>	No respetar la luz roja para el paso de peatones
<b>Normativa conductor:</b>	No respetar el límite máximo de velocidad en la vía
<b>Observaciones:</b>	En este tramo de la vía se produjeron 305 denuncias por exceso de velocidad por parte de la Guardia Civil a lo largo del año 2012.